

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

**ЧАЛА ОКСАНА ВІКТОРІВНА**

УДК 004.9:519.816

**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕМПОРАЛЬНИМИ БАЗАМИ  
ЗНАНЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор,  
**Левикін Віктор Макарович,**  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки, професор кафедри  
інформаційних управляючих систем.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор,  
**Жолткевич Григорій Миколайович,**  
Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна,  
декан факультету математики і інформатики;

доктор технічних наук, професор,  
**Шостак Ігор Володимирович,**  
Національний аерокосмічний університет  
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,  
професор кафедри інженерії  
програмного забезпечення;

доктор технічних наук, професор,  
**Гожий Олександр Петрович,**  
Чорноморський національний університет  
імені Петра Могили, професор кафедри  
інтелектуальних інформаційних систем.

Захист відбудеться “10” вересня 2021 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.08 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розісланий “9” серпня 2021 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

І.П. Плісс

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасний стан організаційного управління характеризується широким використанням знання-орієнтованих інформаційних технологій підтримки управлінських рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач на тактичному та стратегічному рівнях організаційної ієрархії підприємства.

Підтримка прийняття управлінських рішень реалізується в умовах неповноти інформації щодо поточного стану об'єкту організаційного управління з використанням баз знань і призначена для вирішення трудомістких задач виявлення проблемної ситуації, представленої аномальним станом об'єкту управління, а також формування для особи, що приймає рішення (ОПР), множини альтернативних варіантів виконання управлінського рішення, упорядкованих за заданим критерієм ефективності. Кожен із таких варіантів має темпоральні характеристики і представляється у вигляді послідовності управляючих дій у часі. Вирішення задачі побудови упорядкованої множини варіантів виконання управлінського рішення дозволяє ОПР зробити обґрунтований вибір послідовностей управляючих дій при виникненні аномального стану об'єкту управління, що дає можливість підвищити ефективність прийняття управлінських рішень.

Використання баз знань для підтримки управлінських рішень потребує створення та своєчасного доповнення знань, а також реалізації виводу на знаннях щодо процесу організаційного управління. Тому важливе місце при підтримці управлінських рішень займає вирішення задач управління базою знань. Автоматизоване управління базою знань при вирішенні задач підтримки управлінських рішень є актуальним для класу сучасних високотехнологічних підприємств, характерною ознакою яких є діяльність з використання, розробки, адаптації, поставки та конфігурування інформаційних сервісів та технологій.

Значний внесок у розробку моделей представлення знань та методів побудови й використання баз знань для підтримки прийняття рішень з використанням інтерактивних підходів та обчислювального інтелекту, а також з урахуванням темпорального аспекту знань внесли роботи вітчизняних та зарубіжних авторів: М.Ф.Бондаренка, Е.Г. Петрова, Д.О. Поспелова, І.Б. Сіроджі, Ю.П. Шабанова-Кушнарєнка, Н.В. Шаронової, W.W. Cohen, P. Domingos, O. Etzioni, J. Hoffart, J. Leskovec, A. McCallum, T.M. Mitchell, I. Nonaka, C. Re, M. Richardson, S. Staab, F. M. Suchanek, H. Takeuchi, G. Weikum та ін.

Проведений аналіз стану проблеми управління базами знань дає можливість зробити висновок про недостатню ефективність існуючих моделей та методів для вирішення задач підтримки управлінських рішень. При побудові баз знань використовуються знання експертів, також знання, що вбудовані у організаційні процедури, документи й процеси. В системах підтримки прийняття рішень традиційно використовуються комунікативні методи вилучення знань у експертів. Реалізація цих методів потребує значних витрат часу, а також проведення перевірки на несуперечливість, що не дає можливості оперативно поповнювати

базу знань і, на цій основі, формувати множину альтернативних варіантів управлінського рішення, актуальну у заданий момент часу. Вбудовані знання використовуються при реалізації методів автоматизованого управління базами знань в інформаційно-пошукових, інформаційно-довідкових та інформаційно-аналітичних системах. Існуючі методи автоматизованого управління знаннями не враховують темпоральну упорядкованість, що не дає можливість сформувати послідовності управляючих дій у часі при реалізації задач підтримки управлінських рішень. Отже, існує протиріччя між практичними потребами знання-орієнтованої підтримки управлінських рішень в умовах неповноти інформації щодо стану об'єкту управління на тактичному та стратегічному рівнях управління з урахуванням темпорального аспекту управляючих дій та можливостями існуючих методів автоматизованого управління базами знань.

Таким чином, розробка концептуальних основ, моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності вибору управлінських рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач є актуальною науково-прикладною проблемою.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках таких держбюджетних НДР: «Розробка технології дистанційної реєстрації загроз біобезпеці питного та інших видів водокористування у екстремальних ситуаціях» (№ ДР 0117U002527); «Розумний Кібер Університет – Cloud-Mobile сервіси управління науково-освітніми процесами» (№ ДР 0117U002524); господарсько-договірних НДР: «Проектування, створення, попереднє випробування та дослідна експлуатація комплексної системи захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі «Кузнечна» КП «МІЦ» (№ ДР 0119U000212); «Проектування, створення, попереднє випробування та дослідна експлуатація комплексної системи захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі «Науки» КП «МІЦ» (№ ДР 0119U000213).

**Мета та завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності підтримки прийняття управлінських рішень в умовах неповноти інформації щодо стану об'єкту управління.

Для досягнення мети дисертаційної роботи необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз проблем та підходів до автоматизованого управління базами знань для підтримки управлінських рішень.
2. Розробити модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях.
3. Розробити модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень.
4. Розробити моделі темпоральних правил.

5. Розробити модель темпоральної бази знань.

6. Розробити методи побудови темпоральних правил.

7. Розробити метод визначення ваг темпоральних правил на основі знань щодо виконаних послідовностей дій управлінського рішення.

8. Розробити інформаційну технологію побудови темпоральної бази знань.

9. Розробити метод виявлення аномального стану об'єкту управління на основі використання темпоральних правил.

10. Розробити метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах для формування багатоваріантного управлінського рішення.

11. Розробити інформаційну технологію автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань.

12. Виконати експериментальну перевірку розроблених методів та реалізувати інформаційні технології автоматизованого управління темпоральною базою знань для підтримки управлінських рішень.

*Об'єктом дослідження* є процес підтримки й прийняття управлінських рішень у організаційних системах.

*Предметом дослідження* є моделі, методи та інформаційні технології автоматизованої побудови й використання баз знань для підтримки управлінських рішень.

*Методи дослідження:* результати дисертаційної роботи ґрунтуються на використанні: теорії множин – при розробці моделі багатоваріантного управлінського рішення та моделей представлення темпоральних знань; методів інтелектуального аналізу даних – при дослідженні й розробці методів виявлення аномального стану об'єкту управління, темпоральної логіки – при розробці моделей представлення темпоральних знань та методів побудови темпоральних правил; теорії ймовірності та математичної статистики – при моделюванні ймовірнісного аспекту представлення темпоральних знань, а також розробці методу визначення ваг темпоральних правил та методу зворотного ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань, теорії баз знань – при розробці моделі темпоральної бази знань.

**Наукова новизна отриманих результатів.** На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливу науково-прикладну проблему розробки концептуальних основ, моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності вибору управлінських рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач. Отримано такі нові наукові результати.

1. Вперше запропоновано модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях та містить альтернативні реалізації цього рішення у складі послідовностей станів об'єкту управління, які відповідають послідовностям управляючих дій, набори темпоральних залежностей для кожної з цих послідовностей, а також оцінки темпоральних залежностей, що дає можливість побудувати та оцінити альтернативи при вирішенні задачі формування управлінського рішення.

2. Вперше запропоновано модель представлення темпоральних залежностей

для задач підтримки управлінських рішень, яка містить множину фактів, що відображають знання щодо виникнення станів об'єкту управління, темпоральні відношення, що визначають послідовність фактів у часі, та множинні операції, які задають поєднання, перетин та різницю фактів, що дає змогу у темпоральному й об'єктному аспектах відобразити багатоваріантність управлінського рішення із заданим ступенем деталізації темпоральних знань згідно організаційної ієрархії об'єкту управління.

3. Вперше запропоновано модель темпоральної бази знань, що містить логіко-ймовірнісне представлення знань, знання щодо поточних процесів управління та станів об'єкту управління, а також засоби побудови, уточнення й використання темпоральних знань, що дає можливість автоматизувати управління знаннями шляхом побудови темпоральних правил та подальшого використання цих правил для підтримки управлінських рішень.

4. Вперше запропоновано метод виявлення аномального стану об'єкту управління з використанням темпоральних правил, який передбачає формування множини зважених темпоральних залежностей, що охоплюють знання про поточну та відомі альтернативні реалізації управлінського рішення, а також оцінку поточного стану з урахуванням темпоральних обмежень й ваг темпоральних правил, що дає можливість автоматизувати вирішення задачі виявлення проблемної ситуації у процесі підтримки управлінського рішення.

5. Вперше запропоновано метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах; метод формує упорядковану за ймовірністю реалізації множини впорядкованих у часі послідовностей фактів, які відображають знання щодо альтернативних послідовностей станів при реалізації управлінського рішення, що дає можливість підвищити ефективність підтримки таких рішень за рахунок зменшення кількості альтернатив, які пропонуються ОПР.

6. Удосконалено методи побудови продукційних знань в аспекті темпоральних правил, які, на відміну від існуючих, формують класи еквівалентності фактів і правил та виділяють правила-обмеження і правила-ймовірні умови виконання управляючих дій, що дає можливість з використанням інформації щодо відомих імплементацій управлінського рішення у автоматичному режимі побудувати темпоральні знання для підтримки управлінських рішень.

7. Удосконалено метод визначення ваг темпоральних правил на основі значень ймовірностей послідовностей фактів, який, на відміну від існуючих, використовує темпоральні знання щодо виконаних послідовностей дій для альтернативних варіантів управлінського рішення за виключенням темпоральних обмежень, що дає можливість упорядкувати альтернативи при формуванні управлінського рішення з використанням уточнених при зміні стану об'єкту управління ваг темпоральних правил.

8. Набуло подальшого розвитку продукційне представлення знань у формі ансамблю моделей темпоральних правил, які, на відміну від існуючих, містять знання щодо порядку у часі фактів виникнення станів об'єкту управління, а також змін у станах окремих типових об'єктів у складі об'єкту управління, що дає можливість використати темпоральні знання для формування таких нових

послідовностей управляючих дій, які забезпечують досягнення цільового стану об'єкту управління у процесі підтримки управлінського рішення.

**Практичне значення отриманих результатів.** Практичне значення отриманих теоретичних результатів дисертаційної роботи полягає у розробці інформаційних технологій побудови темпоральної бази знань та автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань. Результати дисертаційної роботи були апробовані і впроваджені: у ТОВ "Діджитал клоуд технолоджіз глобал" (акт впровадження від 10.09.2020 р.); в ПП "Софтвеа експерт" (акт впровадження від 03.02.2021 р.); у ДП «Захист і автоматизація об'єктів НДІРВ» (акт впровадження від 18.11.2020 р.); в Національному науковому центрі «Інститут метрології» (акт впровадження від 09.12.2020 р.); в освітній процес Харківського національного університету радіоелектроніки (акт впровадження від 25.02.2021 р.).

Впровадження розроблених в дисертаційній роботі методів, моделей та інформаційних технологій дає можливість підвищити ефективність прийняття рішень ОПР на основі автоматизованого формування упорядкованої за ймовірнісною оцінкою множини альтернатив управлінського рішення та відповідного зменшення кількості альтернатив, які розглядаються ОПР.

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. Наукові праці: [3], [9] - [11], [14], [16], [18], [22] - [24], [28], [29], [40] - [44] опубліковано без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать такі результати: [1] – запропоновано модель ієрархічного представлення часу для формування темпоральних знань із заданим ступенем деталізації опису об'єкту управління; [2] – запропоновано метод оцінювання часу виникнення подій у дискретних процесах для порівняння послідовностей станів таких процесів; [4] – запропоновано метод виділення елементів контексту виконання знання-ємних процесів для побудови опису кожного з станів процесу на основі множини значень атрибутів; [5] – запропоновано модель багатоваріантного процесу, яка містить множину можливих альтернативних послідовностей дій, визначає умови виконання дій через значення властивостей типових об'єктів-артефактів, а також містить продукційні знання, що визначають послідовність виконання цих дій; [6] – запропоновано модель знання-ємного процесу, що містить набір станів процесу і знання щодо переходів між станами у вигляді множини правил, що визначаються з використанням темпоральної логіки; [7] – запропоновано метод оцінювання станів об'єктів управління для знання-ємного процесу на основі визначення класів еквівалентності цих об'єктів, а також відношень темпорального порядку та узагальнення/деталізації; [8] – запропоновано моделі шаблонів поведінки типових об'єктів - артефактів, що містять атрибутивний опис таких об'єктів та темпоральні залежності між їх станами; [12] – запропоновано метод виділення прототипів темпоральних правил на основі визначення контекстних залежностей для послідовності дій; [13] – запропоновано метод виділення залежностей між типовими об'єктами-артефактами з урахуванням значень їх атрибутів; [15] – запропоновано модель підтримки життєвого циклу знання-ємного процесу на

основі актуалізації знань щодо типових об'єктів-артефактів, а також обмежень та правил виконання дій; [17] – запропоновано концепцію автоматизованої побудови, доповнення та використання бази знань для підтримки управлінських рішень; [19] – запропоновано метод автоматизованої побудови та оновлення бази знань, що містить етапи визначення фактів, побудови правил та обчислення розподілу ймовірностей для правил; [20] – запропоновано метод зворотного ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань на основі темпоральних правил; [21] – запропоновано метод розрахунку ваг темпоральних правил в темпоральній базі знань; [25] – удосконалено модель темпоральної бази знань шляхом її доповнення алгоритмами побудови та використання темпоральних знань; [26] – запропоновано метод підтримки управлінських рішень з використанням темпоральних знань для комплексного об'єкту управління, що складається з елементарних об'єктів-артефактів; [27] – запропоновано модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях, та удосконалено метод підтримки управлінських рішень на основі темпоральних знань; [30] – запропоновано метод виявлення аномального стану об'єкту управління, що виникає в результаті атаки на рейтинги товарів та послуг в інформаційних рекомендаційних системах; [31] – запропоновано модель експертного оцінювання альтернатив для порівняння альтернативних варіантів управлінського рішення; [32] – запропоновано модель представлення темпоральних знань, що враховує абсолютну та відносну шкали представлення часу; [33] – запропоновано модель представлення знань про послідовність управляючих дій, що містить декларативні знання щодо станів типових об'єктів-артефактів, процедурні знання щодо дій, а також темпоральні обмеження; [34] – запропоновано модель об'єкту управління у вигляді ієрархії артефактів, стани яких змінюються з часом; [35] – запропоновано метод уточнення знань щодо послідовностей управляючих дій з урахуванням обмежень та умов виконання таких дій; [36] – запропоновано метод виявлення продукційних правил на основі аналізу послідовностей подій, що відображають послідовності реалізованих управляючих дій у часі, а також відповідні послідовності станів об'єкту управління; [37] – запропоновано модель темпоральної бази знань; [38] – запропоновано підхід до виявлення аномальних станів об'єкту управління на основі відхилень у характеристиках та у темпоральному порядку його станів; [39] – запропоновано представлення знань у вигляді фактів та зважених правил для послідовностей станів об'єкту управління.

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні результати дисертаційного дослідження доповідались на 21 міжнародній науково-технічній та науково-практичній конференціях: XX Міжнародному конгресі двигунобудівників (м. Харків, 2015 р.) [45]; I Міжнародній науково-технічній конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології (PMW-2016)» (м. Харків, 2016 р.) [46]; VI Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (м. Харків, 2016 р.) [47]; V, VII Міжнародних науково-технічних конференціях «Інформаційні системи та технології» (Коблево-Харків, 2016, 2018 рр.) [48], [60]; V, VII та IX Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ)» (м. Одеса, 2016, 2018, 2020 рр.) [49], [61], [65];

X Міжнародній науково-технічній конференції «Метрологія та вимірювальна техніка 2016» (м. Харків, 2016) [50]; науково-технічній конференції «Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM» (м. Київ, 2016 р.) [51]; Міжнародній науково-практичній конференції «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку» (м. Харків, 2017 р.) [52]; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку» (м. Черкаси, 2017 р.) [53]; V Міжнародній науково-практичній конференції «Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні 2017» (м. Київ, 2017 р.) [54]; XIII International scientific-practical conference «Scientific progress news» (Sofia, Bulgaria, 2017) [55]; VI Міжнародній науково-технічній конференції «Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи (МІВТС-2017)» (м. Харків, 2017 р.) [56]; V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології – 2018 (ІТ-2018)» (м. Київ, 2018 р.) [57]; II, III та IV Міжнародних науково-технічних конференціях «Комп'ютерні та інформаційні системи і технології» (м. Харків, 2018, 2019, 2020 рр.) [58], [63], [64]; I Міжнародній науково-практичній конференції «ІТ- професіоналів та аналітиків комп'ютерних систем» (Харків, 2018 р.) [59]; I Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині» (м. Харків, 2018 р.) [62].

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 65 наукових праць, з них 24 праці написані без співавторів: 44 статті (39 у фахових періодичних виданнях України з технічних наук, в тому числі 1 стаття в журналі категорії «А», що індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus та віднесена до третього квартиля (Q3), 1 стаття у журналі категорії «А», що індексується у міжнародній наукометричній базі Web of Science Core Collection), 5 статей у періодичних закордонних англійськомовних виданнях з технічних наук Європейського Союзу (Естонія, Польща), в тому числі 1 стаття у виданні, що індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus; 21 теза доповідей у матеріалах наукових конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 291 найменування на 31 сторінці, та 2 додатки на 18 сторінках. Робота містить 35 ілюстрацій, з них 8 на 8 окремих сторінках, та 17 таблиць, з них 1 на 1 окремій сторінці. Загальний обсяг дисертації складає 371 сторінку, у тому числі 284 сторінки основного тексту.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет і завдання дослідження, наведено відомості щодо зв'язку роботи з науково-дослідними роботами. Дано стислу анотацію отриманих у дисертації результатів, наведено їх наукову новизну, а також практичне значення, представлено дані щодо впровадження результатів проведеного дослідження. Наведено особистий внесок здобувача у роботах,

виконаних у співавторстві, відомості щодо публікації та апробації матеріалів дисертації, анонсовано структуру та загальний обсяг дисертації.

У **першому розділі** проведено аналіз моделей та методів управління базами знань для вирішення задач підтримки управлінських рішень. Аналіз показав, що для підтримки управлінських рішень як складової процесу управління на тактичному рівні в умовах невизначеності застосовують системи підтримки прийняття рішень на основі знань. Такі системи використовують вхідні дані із систем обробки транзакцій, що функціонують на оперативному рівні, а також із інформаційно-управляючих систем на тактичному рівні організаційного управління. При побудові баз знань для цих систем використовуються комунікативні методи вилучення знань. Однак реалізація цих методів потребує великих витрат часу як експертів, так і кваліфікованих інженерів знань, що не завжди дає можливість підтримувати базу знань в актуальному стані. Також внаслідок особливостей знань за замовчуванням, які виявляються за допомогою комунікативних методів, отримана база знань потребує перевірки на несуперечливість.

Для подолання зазначених недоліків з побудови баз знань за допомогою комунікативних методів використовують парадигму автоматизованого управління базами знань. В рамках даної парадигми виконується процес екстерналізації вбудованих неявних знань, тобто їх перетворення в явну форму. Вбудовані знання містяться у типових процедурах, процесах, документах організаційної системи. Для виявлення вбудованих знань застосовуються методи інтелектуального аналізу текстів, даних, процесів. Автоматизоване управління знаннями реалізує задачі автоматизованого формування, підтримки бази знань, а також використання знань в рамках інформаційно-пошукових, інформаційно-довідкових та інформаційно-аналітичних систем. Однак існуючі моделі та методи автоматизованого управління базами знань використовують декларативні знання й не враховують їх темпоральні характеристики, що не дозволяє сформулювати управлінське рішення у вигляді упорядкованої у часі послідовності управляючих дій.

На основі проведеного аналізу та з урахуванням невідповідності між практичними потребами знання-орієнтованої підтримки управлінських рішень для класу сучасних високотехнологічних підприємств, що орієнтовані на використання, розробку та супровід інформаційних сервісів та технологій, й можливостями існуючих методів автоматизованого управління базами знань сформульовано наукову проблему, мету та завдання дослідження.

У **другому розділі** наведено формальну постановку задачі автоматизованого управління темпоральною базою знань та модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях.

Автоматизоване управління темпоральною базою знань полягає у формуванні темпоральних знань та їх подальшому використанні для підтримки управлінських рішень (рис. 1). Множина темпоральних знань  $R = \{r_m^j\}$  будується на основі інформації щодо реалізацій  $r_{i,m}^{i,j}$  темпоральних залежностей на відомих послідовностях станів  $\Pi_i$ , що забезпечили досягнення цільового стану  $s_{aim}$  об'єкту управління. Підтримка рішень виконується для поточної послідовності станів  $\Pi_{current}$

та полягає у формуванні за допомогою темпоральних знань  $R$  такої множини альтернатив  $\Pi_i^{new} = \{\Pi_i^{new}\}$ ,  $\Pi_i^{new} = \langle s_{i,current}, s_{i,current+1}, \dots, s_{i,aim} \rangle$  управлінського рішення, що забезпечують перехід до цільового стану об'єкту управління. Отримані альтернативи упорядковуються за оцінкою  $P(\Pi_i^{new})$ .



Рисунок 1 – Підтримка прийняття управлінського рішення на основі автоматизованого управління темпоральною базою знань

Формальна постановка задачі автоматизованого управління темпоральною базою знань має вигляд:

Дано:

$$1) \Pi = \{\Pi_i\},$$

$$\Pi_i = \langle s_{i,0}, s_{i,1}, \dots, s_{i,j}, s_{i,j+1}, \dots, s_{i,m}, \dots, s_{i,aim} \rangle, (\forall i) \tau_{i,j} < \tau_{i,j+1},$$

$$2) \Pi_{current} = \langle s_{current,0}, \dots, s_{current,j}, \dots, s_{current,m}, \dots, s_{current,current} \rangle,$$

$$\tau_{current,current} < \tau_{current,aim}.$$

Знайти

$$R = \{r_m^j\}:$$

$$1) (\forall j \forall m) \text{dom } r_m^j = \Pi \bigcup \Pi_{current}, \quad (1)$$

$$(\forall \Pi_i) \exists (r_{i,1}^{i,0} \vee \dots \vee r_{i,m}^{i,j} \vee \dots \vee r_{i,aim}^{i,aim-1}),$$

$$(\forall \Pi_{current}) \exists (r_{current,1}^{current,0} \vee \dots \vee r_{current,m}^{current,j} \vee \dots \vee r_{current,current}^{current,current-1}),$$

$$2) \Pi^{new} = \left\langle \Pi_1^{new}, \dots, \Pi_i^{new}, \dots, \Pi_{|\Pi^{new}|}^{new} : (\forall i) P(\Pi_i^{new}) > P(\Pi_{i+1}^{new}) \right\rangle:$$

$$\left( \forall \Pi_i^{new} = \langle s_{i,current}, s_{i,current+1}, \dots, s_{i,aim} \rangle \right) : \exists R_i^{new} \subseteq R.$$

де  $\Pi_i$  – упорядкована послідовність станів об'єкту управління, що відповідає виконаній при реалізації управлінського рішення послідовності управляючих дій;  $s_{i,j}$  – стан об'єкту управління із послідовності  $\Pi_i$ ;  $\Pi_{current}$  – поточна послідовність управляючих дій, що завершується поточним станом об'єкту управління;  $\tau_{i,j}$  та  $\tau_{i,j+1}$  – моменти виникнення станів  $s_{i,j}$ ,  $s_{i,j+1}$ ;  $s_{current,current}$  – поточний стан об'єкту управління, в якому вирішуються задачі підтримки прийняття управлінського рішення;  $\tau_{current,current}$ ,  $\tau_{current,aim}$  – моменти виникнення станів  $s_{current,current}$ ,  $s_{current,aim}$ ;  $R$  – множина темпоральних знань;  $r_m^j$  – темпоральна залежність, що задає послідовність у часі станів  $s_j$  та  $s_m$  на одній або декількох послідовностях  $\Pi_i$ ;  $r_{i,1}^{i,0}$ ,  $r_{i,m}^{i,j}$ ,  $r_{i,aim}^{i,aim-1}$  – реалізації темпоральних залежностей на послідовності  $\Pi_i$ ;  $r_{current,1}^{current,0}$ ,  $r_{current,m}^{current,j}$ ,  $r_{current,current}^{current,current-1}$  – реалізації темпоральних залежностей на поточній послідовності  $\Pi_{current}$ ;  $\Pi_i^{new}$  – нова послідовність станів, створена в результаті виводу на темпоральних знаннях;  $R_i^{new}$  – множина темпоральних знань, що визначають послідовність  $\Pi_i^{new}$ ;  $P(\Pi_i^{new})$  – оцінка рішення, представленого  $\Pi_i^{new}$ .

Наведені особливості задачі автоматизованого управління темпоральною базою знань у постановці (1) обумовлюють нові можливості знання-орієнтованої підтримки управлінських рішень. По-перше, виявлення аномального стану об'єкту управління при підтримці управлінського рішення може бути виконано не лише традиційно, на основі аналізу атрибутів поточного стану, а й шляхом порівняння ймовірності використання темпоральних знань, що описують поточну та вже відомі успішні реалізації послідовностей управляючих дій. По-друге, для формування множини альтернативних послідовностей станів об'єкту управління, які відповідають альтернативним послідовностям управляючих дій із досягнення цільового стану об'єкту управління, можуть бути використані темпоральні залежності, що були отримані із відомих успішних реалізацій управлінського рішення, з подальшим їх упорядкуванням на основі ймовірнісного показника.

Модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях, охоплює множину альтернативних послідовностей управляючих дій, упорядкованих у часі, або відповідних послідовностей станів об'єкту управління, а також темпоральні залежності, що визначають можливість реалізації кожної із зазначених послідовностей. Всі альтернативи в рамках управлінського рішення забезпечують перехід від початкового до цільового стану об'єкту управління.

Модель багатоваріантного управлінського рішення  $\mathcal{M}$  має наступний вигляд:

$$\mathcal{M} = \{S, \Pi, R, G\}, \quad (2)$$

де  $S$  – кінцева множина станів об'єкту управління;  $\Pi \subset S^J$  – множина можливих послідовностей переходів між станами (апріорно визначених або відомих із реалізованих альтернатив управлінського рішення);  $R$  – множина темпоральних

правил, що визначають можливі переходи між станами для альтернативних варіантів управлінського рішення;  $G$  – функція оцінки темпоральних правил, що визначає їх ваги для заданих переходів між станами із  $S$ .

Множина станів об'єкту управління складається з початкового, кінцевого та проміжних станів:

$$S = \left\{ s_0, \left\{ s_j : j = \overline{1, aim-1} \right\}, s_{aim} \right\}, \quad (3)$$

де  $s_0$  – початковий стан об'єкту управління, що відповідає проблемній ситуації;  $s_{aim}$  – цільовий стан об'єкту управління;  $s_j$  – проміжний стан об'єкту управління.

Кожна послідовність  $\Pi_i$  станів об'єкту управління визначається множиною реалізованих на практиці послідовностей управляючих дій:

$$D_i = \left\langle d_{i,1}^{i,0}, \dots, d_{i,j+1}^{i,j}, \dots, d_{i,aim}^{i,aim-1} \right\rangle, \quad (4)$$

де  $d_{i,j+1}^{i,j}$  – управляюча дія у складі  $i$  – реалізації управлінського рішення, що привела до переходу від стану  $s_{i,j}$  до стану  $s_{i,j+1}$ .

Послідовність управляючих дій формує послідовність станів  $\Pi_i = \left\langle s_{i,0}, s_{i,1}, \dots, s_{i,j}, \dots, s_{i,aim} \right\rangle$ , що може бути представлена у вигляді орієнтованого графу із такими властивостями:

$$\begin{aligned} (\forall i) deg^+(s_{i,0}) &= deg^-(s_{i,aim}) = 0, \\ (\forall i \forall j : 0 < j < aim) deg^+(s_{i,j}) &= deg^-(s_{i,j+1}) = 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Підмножина темпоральних залежностей, що містять знання про реалізацію  $\Pi_i$  управлінського рішення, пов'язує всі можливі пари станів у складі цієї послідовності:

$$\begin{aligned} R_i = \left\{ r_{i,1}^{i,0}, \dots, r_{i,j}^{i,0}, \dots, r_{i,m}^{i,0}, \dots, r_{i,aim}^{i,0}, \dots, r_{i,j+1}^{i,j}, \dots, r_{i,m}^{i,j}, \dots, r_{i,aim}^{i,j}, \right. \\ \left. \dots, r_{i,m}^{i,m-1}, \dots, r_{i,aim}^{i,m}, \dots, r_{i,aim}^{i,m} : (\forall i \forall j) \tau_{i,j} < \tau_{i,j+1} \right\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Функція  $G$  оцінки ваг  $w_m^j \in W$  темпоральних знань  $r_m^j \in R$  враховує зв'язок між правилами та послідовностями станів ОУ, що відповідають альтернативним варіантам управлінського рішення:

$$G : \Pi \times R \rightarrow W. \quad (7)$$

Вага  $w_m^j$  залежить від частоти використання  $r_m^j$  у відомих послідовностях станів об'єкту управління. Тоді ймовірність  $i$  – реалізації управлінського рішення залежить від сумарної ваги  $W_i$  темпоральних правил, що описують вказане рішення:

$$W_i = \sum_{\substack{j,m \\ \exists r_{i,m}^{j,j} \in R_i}} w_m^j. \quad (8)$$

Темпоральні залежності  $r_m^j \in R$  є істинними в моделі  $\mathcal{M}$  на сформованій послідовності  $\Pi_i^{new}$  лише у тому випадку, якщо вони мають відмінну від 0 вагу:

$$\mathcal{M}, \Pi_i^{new} | = r_m^j \text{ iff } = w_m^j > 0. \quad (9)$$

Можливість реалізації альтернативи  $\Pi_i^{new}$  у складі багатоваріантного управлінського рішення визначається на основі знання-орієнтованої оцінки, що базується на сумарній вазі темпоральних залежностей  $W_i^{new}$  для цієї альтернативи:

$$\mathcal{M} | = \Pi_i^{new} \text{ iff } W_i^{new} > 0. \quad (10)$$

Вирішення задачі підтримки управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань потребує формування множини нових альтернатив  $\Pi^{new} = \{\Pi_i^{new}\}$  на основі темпоральних знань щодо успішних реалізацій управлінського рішення за умови, що всі альтернативи  $\Pi_i^{new}$  мають єдиний початковий та цільовий стани:

$$\mathcal{M} | = \Pi^{new} \left( (\forall i) W_i^{new} > 0, s_{i,0} \equiv s_0, s_{i,aim} \equiv s_{aim} \right), \quad (11)$$

де  $s_0, s_{aim}$  – відповідно єдиний початковий та цільовий стани для всіх альтернативних варіантів управлінського рішення.

Запропонована модель управлінського рішення орієнтована на використання темпоральних знань у процесі підтримки прийняття рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач.

У **третьому розділі** наведено моделі представлення темпоральних знань для підтримки управлінських рішень, а саме: модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень, моделі темпоральних правил, що визначають послідовність дій у складі управлінського рішення, а також модель темпоральної бази знань, що містить логіко-ймовірнісне представлення знань.

Модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень складається з множини фактів щодо виникнення станів об'єкту управління, темпоральних операторів, що задають відношення між станами в часі, а також множини операцій над фактами, яка дає можливість представити ці стани із різним ступенем деталізації, з урахуванням рівня організаційної ієрархії підприємства:

$$\mathcal{P} = \{\Phi^*, O, H\}, \quad (12)$$

де  $\Phi^*$  – множина фактів виникнення станів об'єкту управління або підмножини типових об'єктів-артефактів у складі об'єкту управління;  $O$  – множина темпоральних операторів, що задають різні типи відображень у часі факту-антецеденту на факт-консеквент;  $H$  – набір операцій поєднання, перетину, а також різниці фактів.

Множина фактів  $\Phi^*$  відображає знання щодо існування та виникнення станів об'єкту управління з урахуванням темпорального аспекту.

Визначення 1. Факт  $\Phi_j$  існування стану  $s_j$  об'єкту управління представляє собою знання про стан  $s_j$  у формі кон'юнкції елементарних фактів  $\phi^{k,l}$ :

$$\Phi_j = \bigwedge_k \varphi^{k,l}. \quad (13)$$

Визначення 2. Елементарний факт  $\varphi^{k,l}$  представляє собою знання щодо значення  $c_{k,l}$  атрибута  $b_k$  стану об'єкту управління.

Визначення 3. Факт  $\Phi_{i,j}$  виникнення  $j$ - стану об'єкту управління представляє собою знання про перехід об'єкту управління в стан  $s_{i,j}$  на послідовності станів  $\Pi_i$  у момент часу  $\tau_j$ :

$$\Phi_{i,j} = \bigwedge_k \varphi_{i,j}^{k,l} : (\forall i \forall j) \varphi_{i,j}^{k,l} = true | \tau = \tau_{i,j}. \quad (14)$$

Послідовність із початкових, проміжних та цільових станів об'єкту управління на рівні темпоральних знань відображається послідовностями  $V = \{V_i\}$  фактів  $\Phi_{i,0}$ ,  $\Phi_{i,j}$  та  $\Phi_{i,aim}$ :

$$V_i = \{\Phi_{i,0}, \dots, \Phi_{i,j}, \dots, \Phi_{i,aim}\}. \quad (15)$$

Початкові факти  $\{\Phi_{i,0}\}$  відображають знання про можливий аномальний стан об'єкту управління, що свідчить про виникнення проблемної ситуації та про необхідність прийняття управлінського рішення. В рамках даної моделі множина початкових фактів містить лише один елемент для всіх варіантів управлінського рішення. Множина цільових фактів  $\{\Phi_{i,aim}\}$  містить знання про набір допустимих цільових станів ОУ, які мають бути досягнуті в результаті виконання одного або декількох альтернативних варіантів управлінського рішення. В рамках моделі представлення темпоральних залежностей така множина складається із одного елемента  $\Phi_{aim}$ .

Визначення 4. Темпоральна залежність для пари фактів  $\Phi_{i,j}$  та  $\Phi_{i,m}$  із однієї послідовності  $V_i$  задає відношення у часі між цими фактами з урахуванням інших фактів даної послідовності:

$$\Phi_{i,j} \xrightarrow{o} \Phi_{i,m}, \quad (16)$$

де  $o$  – темпоральний оператор, що визначає тип залежності між фактами  $\Phi_{i,j}$  та  $\Phi_{i,m}$ .

Для відображення ієрархії станів об'єкту управління, що відповідає ієрархії артефактів, на упорядкованій множині фактів  $\Phi$  додатково визначаються операції  $H = \{\cup, \cap, \setminus\}$ , що задають відношення об'єднання, перетину та різниці фактів. Такі відношення залежать від зв'язків між артефактами, на властивостях яких сформовано вказані факти.

Стани артефактів пов'язані між собою через спільні атрибути. Відповідні факти мають спільні елементарні факти. Факт  $\Phi_{i,j}^{Af_n}$  виникнення  $j$  – стану для підмножини артефактів представляється через кон'юнкцію елементарних фактів:

$$\Phi_{i,j}^{Af_n} = \bigwedge_p \Phi_{i,j}^{p,l} : (\forall p) \exists b_p \in Af_n \mid \tau = \tau_{i,j}, \quad (17)$$

де  $\Phi_{i,j}^{p,l}$  – елементарний факт, що визначає наявність значення  $c_{p,l}$  у атрибута  $a_p$ .

Визначення 5. Операція поєднання фактів виникнення станів артефактів  $af_1$  та  $af_2$ , у момент  $\tau_{i,j}$  на послідовності  $\Pi_i$  представляється кон'юнкцією їх елементарних фактів  $\Phi_{i,j}^{k,l}$ :

$$\Phi_{i,j}^{af_1} \cup \Phi_{i,j}^{af_2} = \bigwedge_{\substack{k: \\ b_k \in (af_1 \cup af_2)}} \Phi_{i,j}^{k,l} \mid \tau = \tau_{i,j}. \quad (18)$$

Визначення 6. Операція перетину фактів виникнення станів артефактів  $af_1$  та  $af_2$  представляється кон'юнкцією елементарних фактів  $\Phi_{i,j}^{k,l}$ , що є спільними для обох артефактів:

$$\Phi_{i,j}^{af_1} \cap \Phi_{i,j}^{af_2} = \bigwedge_{\substack{k: \\ b_k \in (af_1 \cap af_2)}} \Phi_{i,j}^{k,l} \mid \tau = \tau_{i,j}. \quad (19)$$

Визначення 7. Операція різниці фактів виникнення станів артефактів  $af_1$  та  $af_2$  представляється кон'юнкцією елементарних фактів  $\Phi_{i,j}^{k,l}$ , що відображають властивості різниці обох артефактів:

$$\Phi_{i,j}^{af_1} \setminus \Phi_{i,j}^{af_2} = \bigwedge_{\substack{k: \\ b_k \in (af_1 \setminus af_2)}} \Phi_{i,j}^{k,l} \mid \tau = \tau_{i,j}. \quad (20)$$

Розроблена модель представлення темпоральних залежностей забезпечує можливість опису темпоральних знань одночасно у аспекті часу та об'єктному аспекті. Подальша формалізація темпоральних знань у аспекті часу потребує розробки темпоральних правил з використанням фактів та операторів, визначених у даній моделі.

Запропоновані моделі темпоральних правил є різновидом представлення продукційних знань, які визначають упорядкованість у часі для пар фактів існування станів об'єкту управління. Темпоральні відношення та область їх дії щодо послідовностей станів задаються за допомогою темпоральних операторів та кванторів. Темпоральне правило  $r_m^j$  має вигляд:

$$r_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{K\circ} \Phi_m, \quad (21)$$

де  $K$  – темпоральний квантор, що визначає множину послідовностей станів, для яких правило є істинним;  $\circ$  – темпоральний оператор, що визначає тип темпорального відношення.

В темпоральних правилах використовуються квантори темпоральної логіки  $E$  (Exists),  $A$  (All). Перший квантор задає істинність правила  $r_m^j$  хоча б для однієї послідовності станів  $\Pi_i \in \Pi$ , тобто хоча б для однієї з альтернатив управлінського рішення. Другий квантор визначає істинність правила  $r_m^j$  для всіх послідовностей станів  $\Pi_i \in \Pi$ , тобто для всіх альтернативних реалізацій багатоваріантного

управлінського рішення. Дане правило представляє темпоральні знання про загальні відмінності процесу управління і тому виступає в якості обмеження для всіх альтернатив управлінського рішення.

Запропонований ансамбль темпоральних правил містить у собі правила типів «neXt», «Future» та «Until».

Визначення 8. Темпоральне правило  $x_m^j$  типу «neXt» задає відношення між парою послідовних у часі фактів  $\Phi_j$  та  $\Phi_m$ , між якими немає інших фактів:

$$x_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{X} \Phi_m, \quad (22)$$

де  $X$  – темпоральний оператор *NeXt*.

Правило задає темпоральну упорядкованість для пари фактів виникнення станів  $s_j$  та  $s_m$  на послідовності  $\Pi_i$  у моменти  $\tau_{i,j}$  та  $\tau_{i,m}$ , між якими відсутні проміжні моменти часу  $\tau_{i,q}$ , на яких фіксується виникнення іншого стану  $s_{i,q}$  об'єкту управління:

$$\left( \forall s_{i,q} \in \Pi_i \right) \exists (s_{i,j}, s_{i,m}) : (\tau_{i,q} < \tau_{i,j}) \vee (\tau_{i,m} < \tau_{i,q}) \Rightarrow \exists x_m^j. \quad (23)$$

Правило  $x_m^j$  з темпоральним квантором  $E$  виконується щонайменше на одній послідовності фактів  $V_i$ :

$$Ex_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{EX} \Phi_m \mid (\exists V_i) : \Phi_{i,j} \xrightarrow{X} \Phi_{i,m}. \quad (24)$$

Темпоральне правило типу *NeXt* з квантором  $A$  (All) є істинним на всіх послідовностях фактів  $V_i$  і тому виступає в якості обмеження:

$$Ax_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{AX} \Phi_m \mid (\forall V_i) \Phi_{i,j} \xrightarrow{X} \Phi_{i,m}. \quad (25)$$

Визначення 9. Темпоральне правило  $f_m^j$  типу «Future» задає відношення у часі між парою фактів  $\Phi_j$  та  $\Phi_m$ , між якими існують проміжні факти.

$$f_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{F} \Phi_m, \quad (26)$$

де  $F$  – темпоральний оператор *Future*.

Правило визначає темпоральну упорядкованість для пари фактів виникнення станів  $s_j$  та  $s_m$  на довільній послідовності  $\Pi_i$  у моменти  $\tau_{i,j}$  та  $\tau_{i,m}$ , між якими існує щонайменше один проміжний момент часу  $\tau_{i,q}$ , для якого відомо про виникнення стану  $s_q$  об'єкту управління:

$$\left( \forall s_{i,q} \in \Pi_i \right) \exists (s_{i,j}, s_{i,m}) : \tau_{i,j} < \tau_{i,q} < \tau_{i,m} \Rightarrow \exists f_m^j. \quad (27)$$

Правила з кванторами  $E$  та  $A$  виконуються на підмножині послідовностей  $V_i$  або на всіх послідовностях із множини  $V$  відповідно:

$$Ef_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{EF} \Phi_m \mid (\exists V_i) : \Phi_{i,j} \xrightarrow{F} \Phi_{i,m}, \quad (28)$$

$$Af_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{AF} \Phi_m \mid (\forall V_i) \Phi_{i,j} \xrightarrow{F} \Phi_{i,m}. \quad (29)$$

Визначення 10. Темпоральне правило  $u_m^j$  типу «Until» задає темпоральне відношення між парою фактів  $\Phi_j^{af_n}$  та  $\Phi_m^{af_g}$ , що визначають стани артефактів  $af_n$  та

$af_g$  таким чином, що стан першого артефакту циклічно повторюється в часі до виникнення стану другого артефакту:

$$u_m^j \equiv \Phi_j^{af_n} \xrightarrow{U} \Phi_m^{af_g}, \quad (30)$$

де  $U$  – темпоральний оператор *Until*.

Правила з кванторами  $E$  та  $A$  виконуються на підмножині послідовностей  $V_i$  або на всіх послідовностях із множини  $V$  відповідно за умови, що ці послідовності містять знання про стани артефактів  $af_n$  та  $af_g$ :

$$Eu_m^j \equiv \Phi_j^{af_n} \xrightarrow{EU} \Phi_m^{af_g} \left| \left( \exists V_i \exists af_n \exists af_g \right) : \Phi_{i,j}^{af_n} \xrightarrow{U} \Phi_{i,m}^{af_g}, \quad (31)$$

$$Au_m^j \equiv \Phi_j^{af_n} \xrightarrow{AU} \Phi_m^{af_g} \left| \left( \forall V_i \exists af_n \exists af_g \right) : \Phi_{i,j}^{af_n} \xrightarrow{U} \Phi_{i,m}^{af_g}. \quad (32)$$

Додаткова умова існування артефактів  $af_n$  та  $af_g$  у виразах (31) та (32)

пов'язана із представленням темпоральних відношень у шкалі «раніше-пізніше». У даній шкалі не враховуються абсолютні значення часу. Тому при зміні типових об'єктів-артефактів правила, що використовують ці артефакти, можуть стати застарілими.

Отримані темпоральні обмеження визначають фрагменти послідовностей станів об'єкту управління, які є обов'язковими для всіх альтернативних варіантів виконання управлінського рішення. Темпоральні правила, що задають умови виконання управляючих дій, визначають змінні фрагменти послідовностей станів об'єкту управління та відповідних управляючих дій.

Запропонована модель темпоральної бази знань орієнтована на підтримку побудови та використання темпоральних знань, що мають процедурний характер і забезпечують формалізацію процесу управління при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач.

Модель темпоральної бази знань містить логіко-ймовірнісне представлення знань, знання про стан об'єкту управління у вигляді послідовностей фактів та правил, а також засоби побудови та використання темпоральних знань для підтримки управлінських рішень.

$$Kb = \langle Kr, \Phi, V, R, W, Ad, Wd \rangle. \quad (33)$$

де  $Kr$  – представлення темпоральних знань;  $\Phi$  – множина фактів виникнення станів  $\Phi_{i,j}$  об'єкту управління, що можуть бути об'єднані у класи еквівалентності  $[\Phi_j]$ ;  $V = \{V_i\}$  – множина послідовностей фактів  $\Phi_{i,j}$  виникнення станів об'єкту управління при реалізації задач управління;  $R$  – множина реалізованих темпоральних правил;  $W$  – множина ваг темпоральних правил;  $Ad$  – засоби автоматизованої побудови та поповнення бази знань;  $Wd$  – засоби виводу на темпоральних знаннях.

Ключовим елементом темпоральної бази знань є представлення темпоральних знань. Запропонована модель представлення знань в темпоральній базі знань орієнтована на автоматизовану побудову процедурних знань, оскільки останні формуються на основі аналізу реалізованих послідовностей станів організаційного об'єкту управління.

Розроблене представлення знань має логіко-ймовірнісний характер. Логічна складова задає опис поведінки об'єкту управління, що відображає зміну його станів, у вигляді фактів та темпоральних правил. Істинність фактів визначається на основі значень властивостей артефактів предметної області. Ймовірнісна складова представлена вагами темпоральних правил, що дає можливість визначити ймовірність отриманих на основі комбінації правил альтернативних варіантів управлінського рішення.

Запропоноване логіко-ймовірнісне представлення темпоральних знань  $Kr$  має такий вигляд:

$$Kr = \{ \mathcal{F}, \mathcal{R}, \mathcal{V}, H : (\forall V_i \in \mathcal{V}) \exists r_m^j \in \mathcal{R} : P(V_i) > 0 \}, \quad (34)$$

де  $\mathcal{F} = \{ \Phi_j \}$  – множина фактів  $\Phi_j$  існування станів  $s_j$ , що представляють класи еквівалентності  $[\Phi_j]$ ;  $\mathcal{R} = \{ (r_m^j, w_m^j) \}$  – множина зважених темпоральних правил, що представляють класи еквівалентності  $[r_m^j]$ , тобто мають еквівалентні реалізації  $r_{i,m}^{i,j} \sim r_m^j$ ;  $\mathcal{V} = \{ V_i : (\forall i \forall j) \exists r_{i,m}^{i,j} \sim r_m^j \}$  – підмножина послідовностей фактів виникнення станів об'єкту управління, що може бути повністю описана правилами  $r_m^j$  із множини  $\mathcal{R}$ ;  $H$  – набір операцій поєднання, перетину, а також різниці фактів;  $P(V_i)$  – ймовірність реалізації послідовності станів  $V_i$ .

Дане представлення забезпечує можливість формування у реальному часі послідовності дій у складі управлінського рішення відносно поточного стану об'єкту управління. Оцінкою кожної альтернативи управлінського рішення є ймовірність переходу від поточного до цільового стану об'єкту управління з урахуванням темпоральних обмежень.

Для визначення ймовірності досягнення цільового стану необхідно сформулювати підмножину актуальних послідовностей фактів  $\mathcal{V} = \{ V_i \}$ , визначити темпоральні правила, що описують ці послідовності, та обчислити ймовірність кожної  $V_i$ . Такі дії можуть бути повторені для кожного нового факту  $\Phi_{i,j}$ , що відображає виникнення відповідного стану  $s_{i,j}$  об'єкту управління. Це дає можливість вирішити задачу формування багатоваріантного управлінського рішення при виникненні аномальної ситуації, тобто у випадку непередбачуваної зміни поточного стану об'єкту управління.

Виникнення нових станів об'єкту управління потребує уточнення знань, а саме множини фактів, що відображають нові, актуальні стани об'єкту управління, а також множини темпоральних правил та їх ваг. Логіко-ймовірнісне представлення знань забезпечує можливість автоматизованого поповнення темпоральних знань при появі нових станів об'єкту управління. В результаті побудова й оцінка ймовірності реалізації кожної з альтернатив управлінського рішення виконується на основі актуальних знань як щодо станів об'єкту управління, відображених множиною уточнених фактів, так і щодо процесу управління, представленого множиною уточнених темпоральних правил.

Багаторазове вирішення задачі, представлене послідовностями станів

$\Pi = \{\Pi_i\}$ , в базі знань представляється знаннями у формі множини послідовностей фактів  $V = \{V_i\}$ . Кожна послідовність  $V_i$  складається із фактів  $\Phi_{i,j}$  виникнення станів об'єкту управління. Для кожної пари фактів  $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m})$  із однієї послідовності  $V_i$  існують темпоральні залежності. Однак між фактами із різних послідовностей  $V_i$  та  $V_n$  такі відношення не задані, оскільки ці послідовності могли бути сформовані у різні періоди часу. Тому узагальнення фактів  $\Phi_{i,j} \in V_i, \Phi_{n,j} \in V_n$  із різних послідовностей дає можливість побудувати узагальнені темпоральні правила, які є істинними для декількох послідовностей  $V_i$ .

При кожній реалізації задач оперативного та тактичного рівня організаційного управління моменти часу  $\tau_{i,j}$  виникнення одних і тих же фактів  $\Phi_{i,j}, \Phi_{n,j}$  на послідовностях  $V_i$  та  $V_n$  будуть відрізнятися, однак вони будуть складатися із тих же самих елементарних фактів.

Визначення 11. Відношення еквівалентності  $\sim$  фактів  $\Phi_{i,j}$  та  $\Phi_{n,j}$  виникнення стану  $s_j$  об'єкту управління із різних послідовностей  $V_i \neq V_n$  є бінарним відношенням, що задовольняється у випадку співпадіння елементарних фактів, які входять до складу  $\Phi_{i,j}$  та  $\Phi_{n,j}$  відповідно:

$$\Phi_{i,j} \sim \Phi_{n,j} : (\forall k \forall l) \varphi_{i,j}^{k,l} \equiv \varphi_{n,j}^{k,l}, \quad (35)$$

де  $\varphi_{i,j}^{k,l}, \varphi_{n,j}^{k,l}$  – елементарні факти у складі фактів  $\Phi_{i,j}$  та  $\Phi_{n,j}$ .

Елементарні факти  $\varphi_{i,j}^{k,l}$  та  $\varphi_{n,j}^{k,l}$  є еквівалентними, якщо в них співпадають значення  $c_{k,l}$  відповідних атрибутів  $b_k$ . Визначення відношення еквівалентності фактів дає можливість формувати темпоральні правила в рамках лінійної логіки, тобто на основі опису процесу управління у вигляді лінійної послідовності управляючих дій, що створює лінійну послідовність станів ОУ.

Відношення еквівалентності має властивості рефлексивності, симетричності та транзитивності, що дає можливість однозначно порівнювати факти із різних послідовностей  $V_i$  та  $V_n$  й формувати класи еквівалентних фактів.

Визначення 12. Клас еквівалентності фактів  $[\Phi_j]$  узагальнює всі відомі факти  $\Phi_{i,j}$  із різних послідовностей  $V_i$ :

$$[\Phi_j] = \{\Phi_{i,j} : (\forall i) \Phi_j \sim \Phi_{i,j}\}. \quad (36)$$

Згідно (36), вся множина фактів  $\Phi$ , що містить знання про всі відомі стани об'єкту управління  $S = \{s_j\}$ , розбивається на підмножини класів еквівалентності  $[\Phi_j]$ , що не перетинаються:

$$\Phi = \bigcup_{j=1}^{|\Phi|} [\Phi_j], \quad (37)$$

$$(\forall j \neq n) [\Phi_j] \cap [\Phi_n] = \emptyset. \quad (38)$$

Таким чином, факти  $\Phi_{i,j}$  виникнення стану  $s_j$  на послідовностях  $V_i$ , що належать до класу  $[\Phi_j]$ , доцільно розглядати як реалізації факту  $\Phi_j$  існування стану  $s_j$ .

Виділення множин еквівалентних фактів дає можливість побудувати темпоральні правила  $r_m^j$  на множині послідовностей фактів  $V = \{V_i\}$ , визначаючи темпоральний порядок для фактів з різних класів еквівалентності  $[\Phi_j]$  та  $[\Phi_m]$ .

Визначення 13. Клас еквівалентності темпоральних правил  $[r_m^j]$  задає порядок у часі для кожної пари фактів  $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m})$ , що належать до однієї послідовності  $V_i$  та до різних класів еквівалентності  $[\Phi_j]$  й  $[\Phi_m]$ :

$$[r_m^j] = \left\{ r_{i,m}^{i,j} : (\forall i) r_m^j \sim r_{i,m}^{i,j}, [\Phi_j] \cap [\Phi_m] = \emptyset \right\}. \quad (39)$$

де  $r_{i,m}^{i,j}$  – реалізація правила  $r_m^j$  для фактів  $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m})$  на послідовності  $V_i$ .

Ймовірнісна складова представлення знань задається через вагу темпоральних правил. Вага правила встановлює його важливість для опису послідовності станів об'єкту управління або послідовності управляючих дій. При максимальному значенні ваги управлінське рішення має обов'язково задовільнити обмеження, що визначені темпоральним правилом. Це означає, що відповідне темпоральне правило  $r_m^j$  має реалізації  $r_{i,m}^{i,j}$  на всіх відомих послідовностях  $V_i \in V$ :

$$(\forall r_m^j \forall V_i) \exists r_{i,m}^{i,j} \Rightarrow w_m^j = \infty, \quad (40)$$

де  $w_m^j$  – вага темпорального правила-обмеження  $r_m^j$ .

Правило-обмеження має виконуватись на всіх, отриманих в результаті виводу в базі знань, нових послідовностях фактів  $V_i^{new}$ :

$$(\forall i) V_i^{new} |_{= r_m^j} w_m^j = \infty. \quad (41)$$

Використання обмежень при формуванні нових реалізацій управлінського рішення дає можливість знизити розмірність задачі підготовки такого рішення. Всі варіанти реалізації управлінського рішення, що не задовольняють обмеженням, мають бути виключені з подальшого розгляду.

Використання ймовірнісної складової дає можливість сформулювати допустимі послідовності дій із реалізації управлінського рішення.

Ймовірнісний розподіл послідовностей фактів  $V_i$  для всіх можливих альтернатив управлінського рішення має вигляд:

$$P(v = V_i) = \frac{1}{Z} \prod_j \psi_{i,j}, \quad (42)$$

де  $\psi_{i,j}$  – функція потенціалу, яка визначає вплив реалізацій правил  $r_{i,m}^{i,j}$  на послідовності фактів  $V_i$ ;  $Z$  – використовується для нормалізації.

У відповідності до (42), сукупний потенціал темпоральних знань  $\psi_{i,j}$

визначає ймовірність реалізації послідовності  $V_i$ , що описується цими знаннями.

Функція нормалізації  $Z$  визначає сукупний потенціал всіх правил на всіх послідовностях  $V_i$ :

$$Z = \sum_i \left( \prod_j \Psi_{i,j} \right). \quad (43)$$

Сукупність потенціалів  $\Psi = \{\Psi_i\}$ ,  $\Psi_i = \{\Psi_{i,1}, \dots, \Psi_{i,j}, \dots, \Psi_{i,|\Psi|}\}$  визначає спільний розподіл послідовностей фактів  $V_i$ , що задаються за допомогою темпоральних знань. Такий розподіл визначає ймовірність кожної альтернативи  $V_i$  управлінського рішення.

Потенціал реалізації послідовностей  $V_i$  визначається через ваги темпоральних правил з урахуванням темпоральних обмежень. Чим більше сумарна вага правил, що описують послідовність фактів  $V_i$  (за виключенням обмежень), тим вище ймовірність реалізації цієї послідовності:

$$\Psi_{i,j} = \exp \left( \sum_m \left( w_m^j \mid \exists r_{i,m}^{i,j}, w_m^j \neq \infty \right) \right), \quad (44)$$

де  $w_m^j$  – вага правила  $r_m^j$ , що має реалізацію  $r_{i,m}^{i,j}$  на послідовності фактів  $V_i$ .

Ймовірнісний розподіл для альтернатив у складі багатоваріантного управлінського рішення згідно (42) та (44), а також з урахуванням темпоральних обмежень має вигляд:

$$P(v = V_i) = \frac{1}{Z} \exp \left( \sum_j \sum_m \left( w_m^j \mid \exists w_{i,m}^{i,j}, w_{i,m}^{i,j} \neq \infty \right) \right). \quad (45)$$

Даний розподіл задає ймовірності для можливих альтернативних варіантів у складі багатоваріантного управлінського рішення. Кожна з цих альтернатив формується на основі знань, представлених правилами  $r_m^j$  з вагою  $w_m^j$ . Множина темпоральних правил задає упорядковану у часі послідовність фактів  $V_i$ , яка відображає у БЗ послідовність станів  $\Pi_i$  об'єкту управління.

Представлена модель бази знань орієнтована на відображення багатоваріантної поведінки об'єкту управління в межах розробленого представлення темпоральних знань, поповнення цих знань при реалізації процесу управління, а також виводу на знаннях для формування нової послідовності управлінських рішень з метою досягнення цільового стану у випадку виникнення аномального стану об'єкту управління.

У **четвертому розділі** наведено методи та інформаційну технологію вирішення задачі побудови темпоральної бази знань. При реалізації даної задачі виконується формування фактів виникнення та існування станів об'єкту управління, побудова темпоральних залежностей та темпоральних правил, що визначають упорядкованість цих фактів у часі, а також знаходження ваг темпоральних правил з тим, щоб забезпечити можливість сформувати множину альтернативних варіантів управлінського рішення та обчислити ймовірності цих

альтернатив у процесі підтримки прийняття рішень. У даному розділі розроблено узагальнений метод побудови та підтримки темпоральної бази знань, методи побудови продукційних знань в аспекті темпоральних правил, метод визначення ваг темпоральних правил на основі значень ймовірності реалізації послідовностей фактів та інформаційну технологію побудови темпоральної бази знань.

Узагальнений метод побудови та підтримки темпоральної бази знань містить у собі етапи: вибору патернів темпоральних залежностей; побудови або уточнення ієрархічної моделі контексту виконання управляючих дій з використанням операцій поєднання, перетину та різниці фактів; відбору підмножини вхідних станів на основі співставлення заданої множини артефактів та організаційної ієрархії об'єкту управління; побудови фактів та темпоральних правил; визначення ваг темпоральних правил. Метод забезпечує можливість оперативного коригування бази темпоральних знань з урахуванням зміни станів об'єкту управління, що створює умови для автоматизованої підтримки управлінських рішень.

Ансамбль методів побудови темпоральних правил містить методи побудови правил типів «NeXt», «Future» та «Until». В якості вхідних даних розроблені методи використовують множину послідовностей фактів  $V = \{V_i\}$ .

Метод побудови темпоральних правил типу «NeXt» містить такі етапи.

Етап 1. Побудова класів еквівалентності  $[\Phi_j]$  для фактів  $\Phi_{i,j}$  із вхідних даних.

На поточному етапі об'єднуються факти, для яких виконується умова еквівалентності (35), тобто факти  $\Phi_{i,j}$  з одного класу  $[\Phi_j]$  відображають виникнення одного й того ж стану  $s_j$  на різних послідовностях  $\Pi_i$ .

Етап 2. Побудова множини реалізацій  $\{X_i\}$  темпоральних правил типу «NeXt» для пар фактів на послідовностях  $V_i$ :

$$X_i = \{x_{i,1}^{i,0}, \dots, x_{i,j+1}^{i,j}, \dots, x_{i,|X_i|}^{i,|X_i|-1}\}. \quad (46)$$

Етап 3. Побудова класів еквівалентності правил  $[x_{j+1}^j]$  для пар послідовних фактів із різних класів еквівалентності:

$$[x_{j+1}^j] = \{x_{i,j+1}^{i,j} : (\forall i) \Phi_{i,j} \in [\Phi_j], \Phi_{i,j+1} \in [\Phi_{j+1}]\}. \quad (47)$$

На даному етапі виконується об'єднання реалізацій  $x_{i,j+1}^{i,j}$  правил із альтернатив  $V_i$  в єдине правило  $x_{j+1}^j$ . Умова об'єднання – факт консеквент та факт-антецедент належать до одних і тих же класів еквівалентності  $[\Phi_j]$  та  $[\Phi_{j+1}]$ .

Етап 4. Визначення темпоральних правил-обмежень та правил-умов виконання управляючих дій.

Правила-обмеження з квантором  $A$  мають виконуватись для всіх альтернативних послідовностей управляючих дій:

$$[Ax_{j+1}^j] = \{x_{i,j+1}^{i,j} : i = \overline{1, |V|}, (\forall i) (\exists \Phi_{i,j} \in [\Phi_j]) \wedge (\Phi_{i,j+1} \in [\Phi_{j+1}])\}. \quad (48)$$

Темпоральні правила з квантором  $E$  задають ймовірні умови виконання управляючих дій та мають реалізацію на підмножині послідовностей  $V_i$  :

$$\left[ Ex_{j+1}^j \right] = \left\{ x_{i,j+1}^{i,j} : (\exists i) : \left( \Phi_{i,j} \in \left[ \Phi_j \right] \right) \wedge \left( \Phi_{i,j+1} \in \left[ \Phi_{j+1} \right] \right) \right\}. \quad (49)$$

Результатом виконання методу є множина  $X$  NeXt –правил, яка складається із обмежень та ймовірних умов виконання дій в рамках управлінського рішення:

$$X = \left\{ \left\{ Ax_{j+1}^j \right\}, \left\{ Ex_{j+1}^j \right\} \right\}, \quad (50)$$

де  $Ax_{j+1}^j$  – обмеження, що представлено класом еквівалентності  $\left[ Ax_{j+1}^j \right]$  темпоральних правил;  $Ex_{j+1}^j$  – умова, яка представлена класом еквівалентності  $\left[ Ex_{j+1}^j \right]$ .

Метод побудови темпоральних правил типу «Future» призначений для побудови темпоральних знань, що визначають упорядкованість у часі для пар станів об'єкту управління, між якими є інші стани. Метод містить у собі такі етапи.

Етап 1. Побудова класів еквівалентності  $\left[ \Phi_j \right]$  для фактів  $\Phi_{i,j}$  із набору вхідних послідовностей  $V$ .

Етап 2. Побудова множини реалізацій  $\{F_i\}$  темпоральних правил типу «Future» для пар фактів на послідовностях  $V_i$ :

$$F_i = \left\{ f_{i,m}^{i,j} : m - j > 1, j = 0, \overline{|V_i|} - 3, m = 2, \overline{|V_i|} - 1 \right\}, \quad (51)$$

де  $f_{i,m}^{i,j}$  – реалізація правила «Future» для пари фактів  $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m})$  на послідовності  $V_i$ .

Етап 3. Побудова класів еквівалентності  $\left[ f_m^j \right]$  темпоральних правил для пар послідовних фактів із різних класів еквівалентності:

$$\left[ f_m^j \right] = \left\{ f_{i,m}^{i,j} : (\forall i) \Phi_{i,j} \in \left[ \Phi_j \right], \Phi_{i,m} \in \left[ \Phi_m \right] \right\}. \quad (52)$$

Етап 4. Формування класів  $\left[ Af_m^j \right]$  правил-обмежень та  $\left[ Ef_m^j \right]$  правил-умов виконання управляючих дій:

$$\left[ Af_m^j \right] = \left\{ f_{i,m}^{i,j} : i = \overline{1, |V|}, (\forall i) \exists \left( \Phi_{i,m} \in \left[ \Phi_m \right] \right) \wedge \left( \Phi_{i,j} \in \left[ \Phi_j \right] \right) \right\}, \quad (53)$$

$$\left[ Ef_m^j \right] = \left\{ f_{i,m}^{i,j} : (\exists i) : \left( \Phi_{i,m} \in \left[ \Phi_m \right] \right) \wedge \left( \Phi_{i,j} \in \left[ \Phi_j \right] \right) \right\}. \quad (54)$$

Результатом виконання методу є множина правил типу «Future», що складається із підмножин обмежень та умов виконання управляючих дій:

$$F = \left\{ \left\{ Af_m^j \right\}, \left\{ Ef_m^j \right\} \right\}, \quad (55)$$

де  $Af_m^j$  – обмеження, які задаються класами еквівалентності  $\left[ Af_m^j \right]$ ;  $Ef_m^j$  – умова, представлена класом еквівалентності  $\left[ Ef_m^j \right]$ .

Метод побудови темпоральних правил типу «Until» орієнтований на формування темпоральних знань, що визначають контекстно-орієнтовану

упорядкованість у часі для пар станів об'єкту управління. Контекстно-орієнтована упорядкованість визначає такі пари станів, для яких змінюється значення заданої підмножини атрибутів. Така підмножина атрибутів може, наприклад, відобразити властивості одного із типових об'єктів-артефактів у складі об'єкту управління. Метод містить у собі такі етапи.

Етап 1. Відбір підмножин послідовностей фактів  $V_i^n \in V_i$ , в яких у останньому факті  $\Phi_{i,j}$  стає істинним один елементарний факт  $\varphi_{i,j}^{k,l}$ :

$$V_i^n = \langle \Phi_{i,m}^n, \Phi_{i,m+1}^n, \dots, \Phi_{i,j}^n : \forall i \exists k : \varphi_{i,m}^{k,q} = \varphi_{i,m+1}^{k,q} = \dots = true \wedge \varphi_{i,j}^{k,l} = true \rangle, \quad (56)$$

де  $\varphi_{i,m}^{k,q}$ ,  $\varphi_{i,j}^{k,l}$  – елементарні факти, які є істинними відповідно для значень  $c^{k,q}$  та  $c^{k,l}$  атрибуту  $b^k$ .

В результаті виконання етапу формується набір послідовностей  $V^n = \{V_i^n\}$ .

Етап 2. Побудова класів еквівалентності  $[\Phi_j^n]$  для фактів  $\Phi_{i,j}$  із набору послідовностей  $V^n$ .

Узагальнення фактів виконується для тих фрагментів послідовностей  $V_i^n$ , кінцевий факт яких фіксує зміну значення атрибуту  $b^k$ .

Етап 3. Формування набору реалізацій  $\{U_i\}$  правил типу «Until» для пар фактів на підпослідовностях  $V_i^n$ :

$$U_i = \{u_{i,m}^{i,j} : \Phi_{i,j}^n, \Phi_{i,m}^n \in V_i^n\}. \quad (57)$$

де  $u_{i,m}^{i,j}$  – реалізація правила «Until» для пари фактів  $\Phi_{i,m}^n, \Phi_{i,j}^n$  на підпослідовності  $V_i^n$ .

Етап 4. Побудова класів еквівалентності  $[u_m^j]$  правил типу «Until» для пар послідовних фактів із різних класів еквівалентності  $[\Phi_j^n]$  та  $[\Phi_m^n]$ :

$$[u_m^j] = \{u_{i,m}^{i,j} : (\forall i) \Phi_{i,j}^n \in [\Phi_j^n], \Phi_{i,m}^n \in [\Phi_m^n]\}. \quad (58)$$

Етап 5. Формування класів  $[Au_m^j]$  правил-обмежень та  $[Eu_m^j]$  правил-ймовірних умов виконання управляючих дій в залежності від зміни контексту:

$$[Au_m^j] = \{u_{i,m}^{i,j} : i = \overline{1, |V^n|}, (\forall i) (\Phi_{i,m}^n \in [\Phi_m^n]) \wedge (\Phi_{i,j}^n \in [\Phi_j^n])\}, \quad (59)$$

$$[Eu_m^j] = [u_m^j] \setminus [Au_m^j] = \{u_{i,m}^{i,j} : (\exists i) : (\Phi_{i,m}^n \in [\Phi_m^n]) \wedge (\Phi_{i,j}^n \in [\Phi_j^n])\}. \quad (60)$$

Результатом застосування методу є множина правил типу «Until»:

$$U = \{\{Au_m^j\}, \{Eu_m^j\}\}, \quad (61)$$

де  $Au_m^j$  – обмеження, задані класами еквівалентності  $[Au_m^j]$  правил;  $Eu_m^j$  – умови, представлені класами еквівалентності  $[Eu_m^j]$ .

Отримані темпоральні правила дають можливість сформуувати можливі

альтернативи в рамках управлінського рішення. Для ймовірнісної оцінки таких рішень необхідно визначити ваги темпоральних правил.

Запропонований метод визначення ваг темпоральних правил використовує такі вхідні дані: множину послідовностей реалізованих фактів  $V^{input} = \{V_i\}$ ,  $V_i = \langle \Phi_{i,0}, \dots, \Phi_{i,j}, \dots, \Phi_{i,J} \rangle$ ; часові обмеження щодо актуальності відомих варіантів управлінського рішення, які представлені граничним часом  $\tau_0$  для кожного першого реалізованого факту  $\Phi_{i,0}$  на послідовності  $V_i$ ; множину темпоральних правил  $R^{input}$ , що є знанням про послідовності  $V_i$ ; підмножину  $Af_h$  артефактів, що визначають властивості об'єкту управління на заданому рівні деталізації його представлення.

Метод визначення ваг темпоральних правил містить у собі такі етапи.

Етап 1. Уточнення множини вхідних послідовностей реалізованих фактів згідно обмеження актуальності. Результируюча множина послідовностей має вигляд:

$$V = \{V_i : (\forall i) \tau_{i,0} \geq \tau_0\}, \quad (62)$$

де  $\tau_{i,0}$  – момент істинності першого реалізованого факту  $\Phi_{i,0}$  із послідовності  $V_i$ .

Етап 2. Узагальнення реалізованих на послідовності  $V_i$  фактів  $\Phi_{i,j} \in [\Phi_j]$  для заданого рівня ієрархії об'єкту управління. Рівень ієрархії задається підмножиною артефактів  $Af_h \subset Af$ ,  $Af_h = \{af_n\}$ .

Узагальнення виконується таким чином:

$$\Phi_j^{Af_h} = \bigwedge_{\substack{k: \\ \exists b_{n,k} \in af_n}} \varphi^{k,l}, \quad (63)$$

де  $b_{n,k}$  –  $k$  – атрибут артефакту  $af_n$ ;  $\varphi^{k,l}$  – елементарний факт: атрибут  $b_{n,k}$  набуває  $l$  – значення.

Етап 3. Уточнення множини вхідних правил для множини реалізованих послідовностей фактів  $V$ . Результируюча множина правил  $R$  містить лише ті правила  $r_m^j$ , які мають реалізацію  $r_{i,m}^{i,j}$  послідовностях  $V_i$ :

$$R = \{r_m^j : (\forall r_{i,m}^{i,j}) \Phi_{i,j}, \Phi_{i,m} \in V_i\}. \quad (64)$$

Етап 4. Виключення обмежень із множини правил:

$$R^{cond} = \{r_m^j : w_m^j \neq \infty\}. \quad (65)$$

Вага обмежень не розраховується, а встановлюється максимальною  $w_m^j = \infty$ , оскільки вони виконуються на всіх послідовностях  $V_i$ .

Етап 5. Розрахунок ймовірностей реалізації  $P_i$  для відомих послідовностей фактів  $V_i$ .

Результатом етапу є множина  $P^*$  ймовірностей реалізації послідовностей  $V_i$ :

$$P^* = \left\{ P_i : P_i = \frac{|\{V_i\}|}{|V|} \right\}, \quad (66)$$

де  $\{V_i\}$  – множина реалізованих у різні періоди часу однакових послідовностей  $V_i$ .

Етап 5. Знаходження ваг темпоральних правил із підмножини  $R^{cond}$  на основі градієнтного спуску з використанням гіпотези

$$P(V_i) = \frac{1}{Z} \exp \left( \sum_j \sum_m (w_m^j | \exists w_{i,m}^{j,j}) \right) \quad (67)$$

та функції втрат

$$Y(w_m^j) = \frac{1}{2|V|} \sum_{i=1}^{|V|} (P(V_i) - P_i)^2. \quad (68)$$

Результатом застосування методу є множина ваг темпоральних правил  $W = \{w_m^j\}$ .

Інформаційна технологія побудови темпоральних баз знань (рис. 2) поєднує використання моделей представлення темпоральних знань, а також методів побудови темпоральної бази знань, формування темпоральних правил, визначення ваг темпоральних правил. Технологія містить такі етапи.

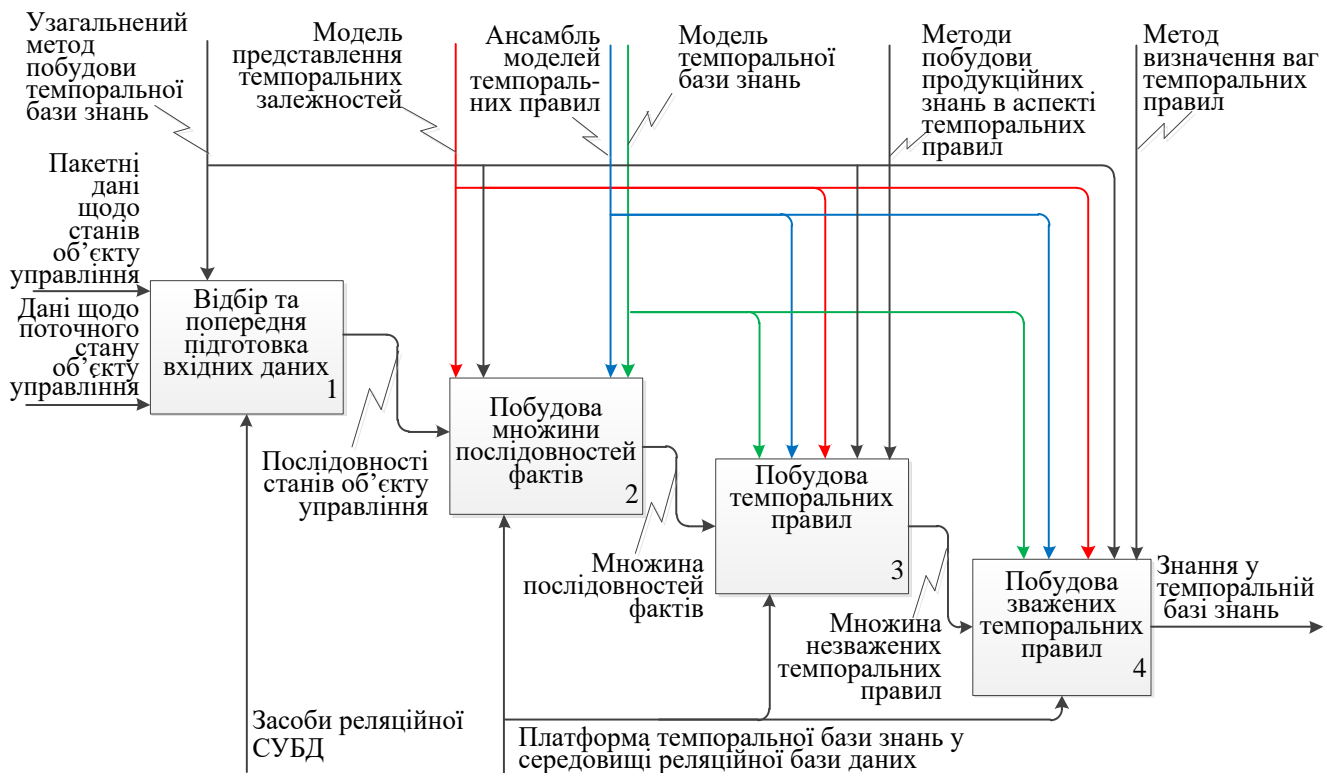


Рисунок 2 – Інформаційна технологія побудови темпоральної бази знань

Етап 1. Відбір та попередня підготовка вхідних даних. На даному етапі формується множина послідовностей станів, що відображають реалізовані управлінські рішення, а також поточна послідовність станів. Відбір вхідних даних виконується з урахуванням визначеного рівня деталізації та за темпоральною ознакою, з урахуванням заданого інтервалу часу.

Наступні етапи технології використовують розроблені моделі представлення знань у вигляді темпоральних правил.

Етап 2. Побудова множини фактів. На даному етапі формуються послідовності фактів  $V_i$  та класи еквівалентності фактів  $\Phi_j$ . Використовується узагальнений метод побудови та підтримки темпоральної бази знань.

Етап 3. Побудова продукційних знань в аспекті темпоральних правил. На даному етапі використовуються методи побудови темпоральних правил типів «Next», «Future» та «Until».

Етап 4. Визначення ваг отриманих темпоральних правил. На даному етапі використовується метод, представлений виразами (62) – (68).

Інформаційна технологія побудови темпоральної бази знань дає можливість сформулювати темпоральні залежності, що визначають можливі послідовності станів об'єкту управління у складі управлінського рішення.

У **п'ятому розділі** наведено методи вирішення задачі підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральних знань. Дана задача складається з підзадач виявлення проблемної ситуації та підготовки багатоваріантного рішення. Вирішення першої підзадачі базується на виявленні аномального стану об'єкту управління з використанням темпоральних знань та з урахуванням двох аспектів такого стану. По перше, цей стан може бути представлений аномальними значеннями властивостей об'єкту управління. По друге, аномальність стану може бути відображена в темпоральному аспекті, при його несвоєчасному виникненні. Вирішення другої підзадачі потребує формування множини послідовностей фактів виникнення станів, від поточного аномального і до цільового стану об'єкту управління. Сукупність цих послідовностей представляє собою багатоваріантне управлінське рішення. Для формування вказаних послідовностей використовується ймовірнісний вивід на темпоральних знаннях, оскільки останні задають темпоральну упорядкованість для пар станів об'єкту управління.

У даному розділі розроблено метод виявлення аномального стану об'єкту управління на основі темпоральних правил, метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних знаннях, інформаційну технологію автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань.

Метод виявлення аномальних станів об'єкту управління з використанням темпоральних правил використовує такі вхідні дані: множина послідовностей фактів  $V = \{V_i\}$ ; поточну послідовність фактів  $V_{current}$ . Метод містить такі етапи.

Етап 1. Формування множини реалізацій  $R_{current} = \{r_{current,j}^{current,m}\}$  темпоральних правил для послідовності  $V_{current} = \langle \Phi_{current,0}, \Phi_{current,1}, \dots, \Phi_{current,current} \rangle$ .

Етап 2. Уточнення множини послідовностей  $V$  з урахуванням факту поточного стану  $\Phi_{current,current}$ .

Крок. 2.1. Побудова підмножини послідовностей фактів  $V^{(1)}$ , що містять у

собі факт виникнення поточного стану із класу еквівалентності  $[\Phi_{current}]$ , та закінчуються цим фактом:

$$V^{(1)} = \{V_i^{(1)} : \forall i \exists \Phi_{i,j} \in [\Phi_{current}]\}, \quad (69)$$

$$V_i^{(1)} = \langle \Phi_{i,1}, \Phi_{i,2}, \dots, \Phi_{i,j} : \Phi_{i,j} \in [\Phi_{current}] \rangle. \quad (70)$$

В тому випадку, якщо відсутній клас еквівалентності  $[\Phi_{current}]$ , до якого належить факт  $\Phi_{current,current}$ , тобто  $V^{(1)} = \emptyset$ , то виконується крок 2.2.

Крок 2.2. Визначення підмножини послідовностей фактів  $V^{(2)}$ , що містять у собі факт  $\Phi_{i,j}$  із класу еквівалентності  $[\Phi_{current-1}]$ :

$$V^{(2)} = \{V_i^{(2)} : \forall i \exists j : \Phi_{i,j} \in [\Phi_{current-1}]\}, \quad (71)$$

$$V_i^{(2)} = \langle \Phi_{i,1}, \Phi_{i,2}, \dots, \Phi_{i,j-1}, \Phi_{i,j} : \Phi_{i,j-1} = \Phi_{current,current-1} \rangle. \quad (72)$$

Крок 2.3. Визначення фінальної підмножини послідовностей фактів  $V^{(3)}$  для виявлення аномального стану ОУ:

$$V^{(3)} = \begin{cases} V^{(2)}, & \text{if } V^{(1)} = \emptyset, \\ V^{(1)}, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (73)$$

Етап 3. Формування підмножини  $R^{(3)}$  темпоральних правил та обмежень, що реалізовані на послідовності фактів  $V^{(3)}$ :

Етап 4. Виявлення аномального стану об'єкту управління на основі темпоральних обмежень.

Ознака аномального стану  $\gamma$  за темпоральними обмеженнями:

$$\gamma = \begin{cases} \text{false, if } (\forall Ar_m^j) \in R^{(3)} \exists r_{current,m}^{current,j}, \\ \text{true, otherwise.} \end{cases} \quad (74)$$

де  $Ar_m^j$  – темпоральні обмеження;  $r_{current,m}^{current,j}$  – реалізація темпорального обмеження на поточній послідовності фактів  $V_{current}$ .

$$\gamma = \text{true} \Rightarrow s_{current,current} \in S^{abn}, \quad (75)$$

де  $S^{abn}$  – множина аномальних станів об'єкту управління.

У випадку  $\gamma = \text{true}$  застосування методу завершується.

Етап 5. Видалення обмежень із повної множини правил  $R^{(3)}$ .

Результатом етапу є множина темпоральних правил  $R^{(4)} = \{Er_m^j\}$ .

Етап 6. Розрахунок сумарної ваги темпоральних правил  $W_{current}$  для факту  $\Phi_{current,current}$  виникнення поточного стану та ваг  $W_i$  для фактів  $\Phi_{i,m} \in [\Phi_{current}]$  виникнення альтернативних станів:

$$W_{current} = \sum_{j=0}^{current-1} w_{current}^j \mid \exists r_{current,current}^{current,j}, w_{current}^j \neq \infty, \quad (76)$$

$$W_i = \sum_{j=0}^{m-1} w_m^j \mid \exists r_{i,m}^{i,j}, w_m^j \neq \infty. \quad (77)$$

Етап 7. Виявлення аномального стану об'єкту управління на основі ваги темпоральних правил.

Крок 7.1. Обчислення відхилення  $\Delta W_{current}$  ваг темпоральних правил для поточної  $V_{current}$  та типових  $V^{(3)}$  послідовностей фактів:

$$\Delta W_{current} = W_{current} - \frac{\sum W_i}{|V^{(3)}|}. \quad (78)$$

Крок 7.2. Обчислення бінарної оцінки  $\omega$  виникнення аномального стану на основі відхилень у поведінці об'єкту управління.

$$\omega = \begin{cases} true, & \text{if } |\Delta W_{current}| \geq \varepsilon, \\ false, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (79)$$

де  $\varepsilon$  – порогове значення.

$$(\forall \Phi_{current,current}) \omega = true \Rightarrow s_{current,current} \in S^{abn}, \quad (80)$$

де  $S^{abn}$  – множина аномальних станів об'єкту управління.

Результатом застосування методу є оцінка належності поточного стану  $s_{current,current}$  до підмножини аномальних станів  $S^{abn}$ .

Метод зворотного ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань для підготовки багатоваріантного управлінського рішення використовує такі вхідні дані: множина послідовностей фактів  $V = \{V_i\}$ ; інтервал часу для актуальних вхідних даних  $T$ . Метод складається з двох фаз: уточнення темпоральних знань з урахуванням їх актуальності на момент формування управлінського рішення; побудови множини ймовірних послідовностей фактів, що визначають альтернативні послідовності станів для багатоваріантного управлінського рішення.

Перша фаза методу містить такі етапи.

Етап 1. Відбір підмножин актуальних вхідних послідовностей фактів  $V^{actual}$

$$V^{actual} = \{V_i^{actual} : \forall \Phi_{i,j} \in V_i^{actual} \tau_{i,j} \in T\}, \quad (81)$$

де  $\tau_{i,j}$  – момент істинності факту  $\Phi_{i,j}$  на послідовності  $V_i$ ;

Етап 2. Відбір множини актуальних темпоральних правил.

$$R^{Actual} = \{r_m^j : (\forall j \forall m \forall i) \exists (\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m} \in V_i^{actual})\}. \quad (82)$$

Етап 3. Виділення підмножин обмежень  $R^{const}$  та умов  $R^{cond}$  виконання управляючих дій із множини актуальних темпоральних правил.

$$R^{const} = \{r_m^j : w_m^j = \infty\}, \quad (83)$$

$$R^{cond} = R^{Actual} \setminus R^{const}. \quad (84)$$

Етап 4. Уточнення ваг правил-умов  $R^{cond}$ .

Друга фаза методу містить такі етапи.

Етап 5. Побудова множини нових послідовностей фактів  $V^{new} = \{V_i^{new}\}$ , що дають можливість перейти від аномального до цільового стану об'єкту управління.

Крок 5.1. Побудова із умов  $Er_m^j$  можливих послідовностей фактів  $V_i^{new}$ , що дають можливість досягти цільового стану об'єкту управління.

Крок 5.2. Уточнення послідовностей  $V_i^{new}$  з урахуванням обмежень  $Ar_m^j$ .

Етап 6. Обчислення потенціалу  $\Psi_i^{new}$  для всіх послідовностей фактів  $V_i^{new} \in V^{new}$ .

$$\Psi_i^{new} = \exp \left( \sum_{r_m^j \in R_i^{Cond}} w_m^j \right), \quad (85)$$

де  $R_i^{Cond}$  – підмножина правил-умов, які визначають послідовність  $V_i^{new}$ .

Етап 7. Обчислення ймовірностей реалізації кожної отриманої послідовності станів  $V_i^{new}$ :

$$P(V_i) = \frac{\Psi_i^{new}}{Z}, \quad (86)$$

$$Z = \sum_{i=1}^{|V^{new}|} \Psi_i^{new}. \quad (87)$$

Етап 8. Упорядкування множини послідовностей станів  $V^{new}$  за зменшенням значень ймовірності  $P(V_i^{new})$ :

$$V^{new} = \langle V_1^{new}, \dots, V_i^{new}, V_{i+1}^{new}, \dots, V_l^{new} : P(V_{i+1}^{new}) \leq P(V_i^{new}) \rangle. \quad (88)$$

Результатом застосування методу є упорядкована множина альтернатив управлінського рішення  $V^{new}$ .

Запропонована інформаційна технологія автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень (рис. 3) з використанням темпоральної бази знань містить у собі такі етапи.

Етап 1. Уточнення знань щодо послідовностей станів об'єкту управління.

Етап 2. Виявлення аномального стану об'єкту управління на основі порівняння темпоральних знань.

На даному етапі в рамках підтримки рішень на тактичному рівні організаційного управління виконується порівняння ваг темпоральних правил для поточної, а також альтернативних послідовностей станів, які відображають успішні реалізації управлінських рішень.

При підтримці рішень на стратегічному рівні управління може бути виконано також порівняння окремих темпоральних правил.

Етап 3. Формування багатоваріантного управлінського рішення шляхом зворотного ймовірнісного виводу.

Етап 4. Додаткове ранжування альтернатив на основі колективного експертного оцінювання.

На даному етапі підмножина найбільш ймовірних альтернатив додатково упорядковується з урахуванням відповідності сформованих послідовностей управляючих дій існуючим процесам у предметній області.

Технологія дає можливість побудувати багатоваріантне управлінське

рішення у вигляді множини послідовностей управляючих дій або відповідних послідовностей станів об'єкту управління з оцінкою ймовірності реалізації кожного із альтернативних варіантів управлінських рішень.

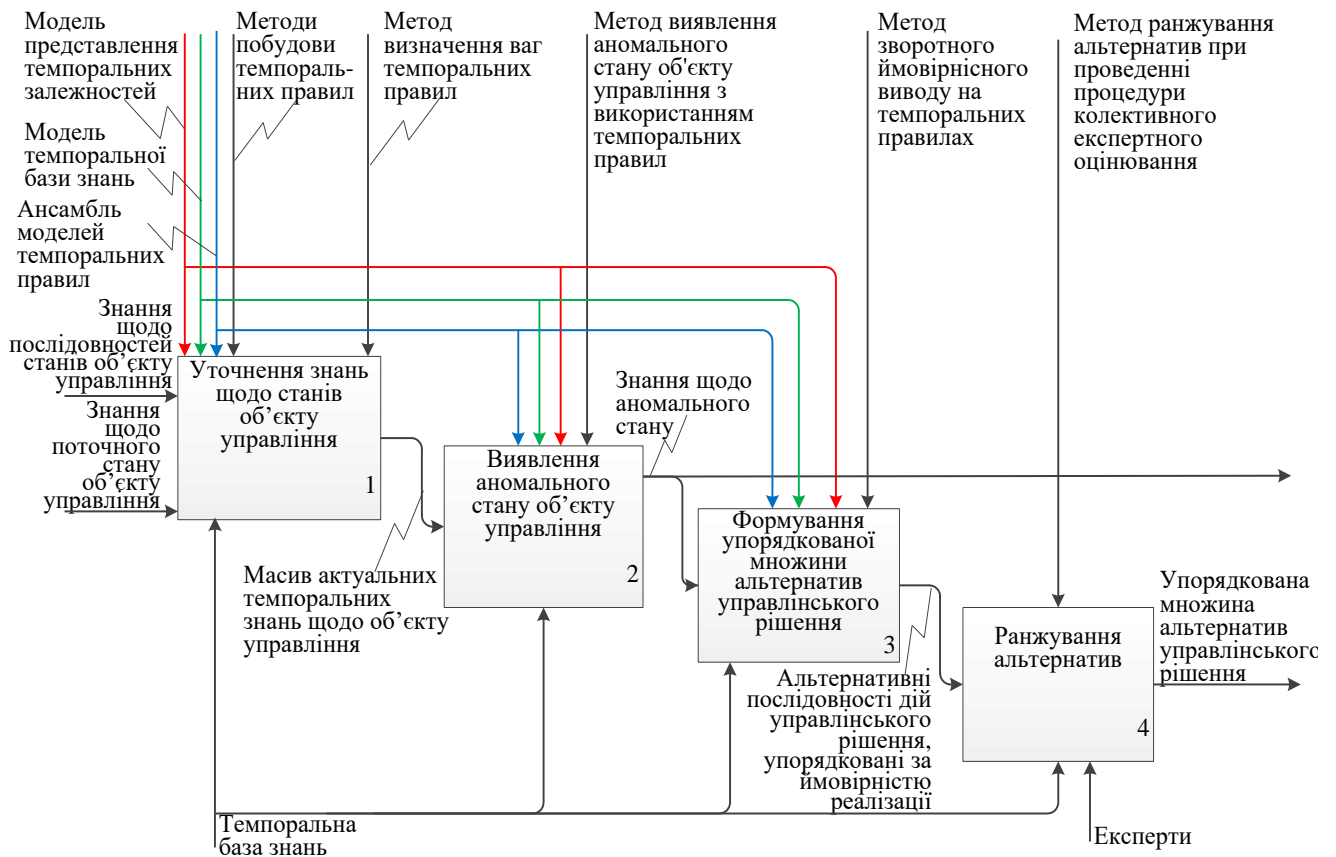


Рисунок 3 – Інформаційна технологія автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань

Технологія забезпечує більш ефективне прийняття управлінських рішень за рахунок вибору найбільш ймовірних послідовностей управляючих дій особою, що приймає рішення.

У шостому розділі наведено результати експериментальної перевірки методів та апробацію розроблених інформаційних технологій.

Проведено експериментальні дослідження методу визначення ваг темпоральних правил, методу виявлення аномального стану об'єкту управління на основі темпоральних правил та методу зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних знаннях.

Експериментальна перевірка методу визначення ваг темпоральних правил показала, що метод дає можливість знайти ваги темпоральних правил з урахуванням заданого рівня деталізації фактів щодо існування станів об'єкту управління за умови, що деталізація виконується за атрибутами типових об'єктів-артефактів. Така властивість методу створює умови для підтримки рішень на визначеному рівні організаційної ієрархії об'єкту управління.

Експериментальна перевірка методу виявлення аномального стану об'єкту

управління показала можливість використання методу зі вхідними даними без значень часу  $\tau_{i,j}$  виникнення станів  $s_j$  на послідовностях  $\Pi_i$ , у шкалі відносного часу, а також можливість ітеративного використання методу. При ітеративному застосуванні виконується уточнення підмножини значень атрибутів, які впливають на виникнення аномального стану об'єкту управління, що створює умови для визначення причин виникнення такого стану.

Експериментальна перевірка методу зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних знаннях для процесу сервісного обслуговування підтвердила можливість практичного застосування методу для побудови множини послідовностей дій з переходу до цільового стану об'єкту управління. Кожна із отриманих в результаті зворотного ймовірнісного виводу послідовностей  $V_i^{new}$  із значенням ймовірності  $P(V_i^{new}) \geq 0.573$  відповідає прийнятним у предметній області послідовностям дій. Альтернативи із меншою ймовірністю містять послідовність станів, що не відповідають процесам у предметній області.

В рамках апробації запропонованих інформаційних технологій розроблено платформу для темпоральної бази знань у середовищі реляційної СУБД MySQL. Розроблена платформа поєднує базу даних та безпосередньо базу знань згідно з представленою на рис. 1 концепцією. Елементи запропонованої моделі бази знань, що описують послідовності фактів та темпоральні правила, відображаються у відповідні реляційні таблиці. База даних використовується для зберігання та використання вхідних послідовностей станів об'єкту управління, а також станів окремих артефактів. Зв'язок між базою даних та базою знань реалізовано через відношення між таблицями елементарних фактів у базі знань та значень атрибутів у базі даних.

Апробація розроблених інформаційних технологій виконана при вирішенні задач виявлення аномального стану об'єкту управління, а також формування багатоваріантного управлінського рішення.

В першому випадку вирішувались задачі виявлення аномального стану об'єкту управління в результаті шилінг-атак в рекомендаційній системі, а також в результаті втручань через мережу Інтернет у роботу інформаційної системи збору, диспетчеризації та обробки даних щодо використання радіотехнічних систем.

Рекомендаційні системи формують персональний перелік товарів для споживачів. В результаті шилінг-атак спотворюється рейтинг товарів, що приводить до викривлення рекомендацій. Результати виявлення аномального стану з використанням темпоральних знань (EF) для атак на зниження та підвищення рейтингу у порівнянні з відомими методами виявлення шилінг-атак на основі динамічного поділу для часових рядів (DP) та на основі часових інтервалів (TI) наведено на рис. 4.

Результати впровадження показали, що на початковій стадії – до 10 атак на підвищення рейтингу технологія з використанням темпоральних знань (EF) дозволяє підвищити точність від 8% до 23% в порівнянні з методом DP, і більш ніж на 30% в порівнянні з методом TI. В атаках на зниження рейтингу збільшення точності на початковій стадії склало від 5 до 23% в порівнянні з DP і понад 30%

для ТІ, що підтверджується актом впровадження.

Використання темпоральних знань при виявленні втручань через мережу Інтернет у роботу інформаційної системи збору й обробки даних щодо використання радіотехнічних систем дало можливість підвищити ефективність виявлення останніх в умовах неповноти інформації щодо зовнішніх впливів, що підтверджено актом впровадження.

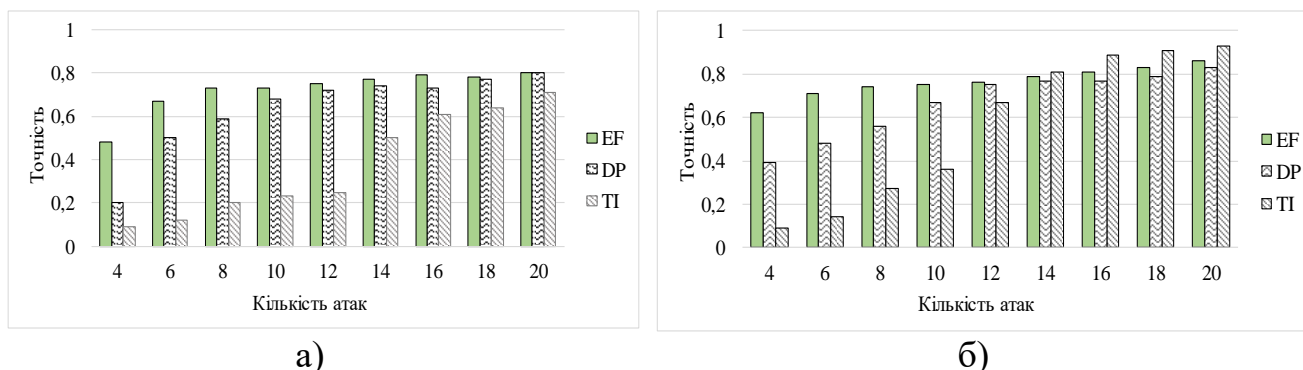


Рисунок 4 – Виявлення аномального стану в результаті шилінг-атак в рекомендаційних інформаційних системах:

а) атака зниження рейтингу; б) атака підвищення рейтингу

У другому випадку вирішувалась задача підтримки прийняття рішень на тактичному рівні організаційного управління при конфігуруванні серверів у хмарі на кластері Nomad для підприємства, що забезпечує конфігурування та поставку хмарних сервісів, а також підтримки рішень при складанні та використанні методик перевірки пристроїв для електротехнічних та радіотехнічних вимірювань.

Задача налагодження хмарного сервісу на кластері Nomad полягає у конфігуруванні серверу розподілу задач на кластер серверів, що виконують клієнтські завдання у приватній хмарі. У процесі підтримки рішень з конфігурування реалізується: завантаження даних у базу даних, формування темпоральних знань; відображення аномального стану об'єкту управління; формування трьох альтернатив з подальшого конфігурування сервера. В якості вхідних даних використовуються послідовності команд з конфігурування серверу. Темпоральні знання представлені фактами щодо виконаних команд конфігурування, а також темпоральними правилами типів «neXt» та «Future», що визначають послідовність команд. Результати підтримки прийняття рішень при конфігуруванні серверів представлено на рис. 5.

Підтримка забезпечила підвищення ефективності конфігурування, а саме скорочення часу налагодження до 31% для конфігурації з 3-х серверів та 43% - для конфігурації з 5 серверів, а також зменшення кількості помилок конфігурування на 23% для 3-х серверів та 19% для 5 серверів, що підтверджується актом впровадження.

Підтримка прийняття рішень зі складання та використання методик перевірки пристроїв, призначених для електротехнічних та радіотехнічних вимірювань, у відповідності до акту впровадження, дала можливість на 12% скоротити витрати часу на перевірку таких пристроїв.

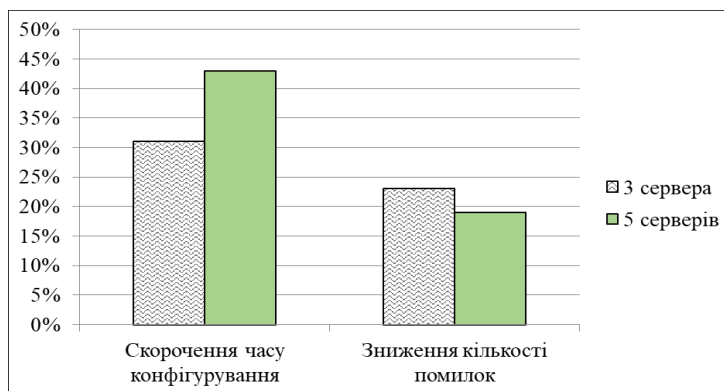


Рисунок 5 – Результати підтримки конфігурування серверів у хмарі на кластері Nomad

У додатках наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, список публікацій.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить нові науково обґрунтовані результати, які забезпечують розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми розробки концептуальних основ, моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності вибору управлінських рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач. В результаті проведення дослідження отримано такі наукові та практичні результати.

1. Проведено аналіз проблем та підходів до автоматизованого управління базами знань, який показав, що існуючі підходи орієнтовані на автоматизоване формування та використання декларативних знань в інформаційно-пошукових, інформаційно-довідкових та інформаційно аналітичних системах. Використання таких підходів для опису процесів управління пов'язано із значними труднощами, що потребує розробки методів та технологій автоматизованої побудови й використання знань для підтримки управлінських рішень.

2. Вперше запропоновано модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях. Модель містить множину альтернативних варіантів такого рішення, кожен з яких представлений послідовністю станів об'єкту управління, що відповідають послідовностям управляючих дій, а також набір темпоральних залежностей для кожної з цих послідовностей й оцінки цих залежностей. Розроблена модель забезпечує можливість побудови та оцінки альтернатив при вирішенні задачі формування управлінського рішення.

3. Вперше запропоновано модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень. Модель містить множину фактів, що відображають знання щодо виникнення станів об'єкту управління, темпоральні відношення, що визначають послідовність фактів у часі, та множинні операції, які задають поєднання, перетин та різницю фактів. Модель забезпечує можливість представлення управлінського рішення у темпоральному аспекті із заданим ступенем деталізації опису об'єкту управління.

4. Набуло подальшого розвитку продукційне представлення знань у формі ансамблю моделей темпоральних правил. Моделі правил відрізняються від існуючих тим, що містять знання щодо порядку у часі фактів виникнення станів об'єкту управління, в тому числі з урахуванням моментів виникнення інших станів, та зміни станів окремих об'єктів у складі об'єкту управління в цілому. Розроблені моделі дають можливість на основі темпоральних знань сформувати множину нових послідовностей станів об'єкту управління, які забезпечують досягнення цільового стану, і тим самим, створюють умови для підтримки управлінського рішення.

5. Вперше запропоновано модель темпоральної бази знань, що базується на логіко-ймовірнісному представленні знань. Модель містить знання щодо реалізованих та поточних процесів управління й станів об'єкту управління, а також засоби побудови, поповнення та використання темпоральних знань. Модель дає можливість автоматизувати управління темпоральними знаннями на основі побудови зважених темпоральних правил та подальшого використання цих правил для вирішення задач виявлення аномального стану об'єкту управління й формування багатоваріантного управлінського рішення.

6. Удосконалено методи побудови продукційних знань в аспекті темпоральних правил. Удосконалені методи формують класи еквівалентності фактів, правил, а також класи правил-обмежень й правил-ймовірних умов виконання управляючих дій. Методи дають можливість сформувати темпоральні знання щодо управлінського рішення на основі інформації про послідовність станів об'єкту управління, що забезпечує можливість знання-орієнтованої підтримки таких рішень.

7. Удосконалено метод визначення ваг темпоральних правил на основі значень ймовірностей послідовностей фактів. Метод відрізняється від існуючих використанням темпоральних знань щодо послідовностей дій у реалізованих варіантах управлінського рішення, за виключенням темпоральних обмежень. Удосконалений метод дає можливість упорядкувати альтернативи при формуванні управлінського рішення з використанням уточнених при зміні стану об'єкту управління ваг темпоральних правил.

8. Розроблено інформаційну технологію побудови темпоральної бази знань, яка використовує запропоновані моделі представлення темпоральних знань та методи побудови зважених темпоральних правил. Технологія забезпечує можливість побудови темпоральної бази знань з використанням вхідних даних у шкалах як абсолютного, так і відносного часу.

9. Вперше запропоновано метод виявлення аномального стану об'єкту управління з використанням темпоральних правил. Метод містить етапи побудови темпоральних залежностей, що відображають знання про поточну та відомі реалізації управлінського рішення, а також ймовірнісної оцінки поточного стану об'єкту управління на основі ваги темпоральних правил. Метод дає можливість автоматизувати вирішення задачі виявлення проблемної ситуації у процесі підтримки управлінського рішення.

10. Вперше розроблено метод зворотного ймовірнісного виводу на

темпоральних правилах. Метод передбачає уточнення темпоральних знань з урахуванням їх актуальності та побудову упорядкованої за ймовірністю виконання множини впорядкованих у часі послідовностей фактів, що відображають послідовність станів, які забезпечують перехід до цільового стану об'єкту управління. Метод дає можливість зменшити кількість альтернатив, з яких вибирає ОПР і, тим самим, підвищити ефективність підтримки управлінського рішення.

11. Розроблено інформаційну технологію підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань, яка інтегрує запропоновані моделі представлення знань та методи виявлення аномального стану об'єкту управління і ймовірнісного виводу. Технологія забезпечує формування альтернативних варіантів виконання управлінського рішення, їх упорядкування за ймовірністю реалізації, а також додаткове ранжування альтернатив за їх відповідністю процесам у предметній області.

12. Виконано експериментальну перевірку розроблених методів побудови та використання баз знань для підтримки управлінських рішень. Перевірка показала можливість застосування розроблених методів не лише для вхідних даних з мітками часу, що використовують шкалу «минуле-поточне-майбутнє», але й для упорядкованих за шкалою «раніше-пізніше» даних. Розроблені інформаційні технології реалізовано при вирішенні задач виявлення аномального стану в результаті шилінг-атак в рекомендаційних інформаційних системах та в результаті втручань через мережу Інтернет у роботу інформаційної системи збору, диспетчеризації та обробки даних щодо використання радіотехнічних систем, а також задач підтримки рішень з конфігурування серверів у приватній хмарі та із складання й використання методик перевірки пристроїв для електротехнічних і радіотехнічних вимірювань. Впровадження технологій показало, що використання темпоральних знань дає можливість в залежності від типу та кількості шилінг-атак підвищити від 5% до 23% точність виявлення аномального стану об'єкту управління на початкових стадіях, що створює умови для своєчасного прийняття рішень із коригування алгоритму роботи рекомендаційної системи. Підтримка конфігурування серверів у хмарі дозволила більш ніж на 30% скоротити час вирішення цієї задачі, що дає можливість підвищити ефективність обробки даних в таких системах. Підтримка рішень із складання та використання методик перевірки пристроїв для електротехнічних та радіотехнічних вимірювань дала можливість на 12% скоротити витрати часу на перевірку таких пристроїв.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель иерархического представления времени в темпоральных знаниях. *Біоніка інтелекту*. 2015. № 2 (85). С. 31-34.
2. Левикін В. М., Чала О.В. Оцінювання часових характеристик подій дискретних процесів у відповідності до концепції GUM. *Метрологія та прилади*. 2015. № 6 (56). С.19-23.
3. Чалая О.В. Контекстно-ориентированный подход к моделированию бизнес-процессов. *Біоніка інтелекту*. 2016. № 1(86). С. 68-71.

4. Левыкин В. М., Чалая О.В. Выделение элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа логов. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2016. № 5/2(31). С. 65-71. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.80989.
5. Левыкин В. М., Чалая О.В. Разработка модели многовариантного знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник херсонського національного технічного університету*. 2016. № 4(59). С. 195-202.
6. Левыкин В. М., Чалая О. В. Модель знание-емкого бизнес-процесса для задач интеллектуального анализа процессов. *Управляючі системи та машини*. 2016. № 6. С. 59-66. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2016.06.059>.
7. Левикін В. М., Чала О.В. Оцінювання характеристик інформаційних об'єктів на прикладі елементів знання-ємних бізнес-процесів. *Метрологія та прилади*. 2016. № 6(62). С. 48-53.
8. Левыкин В. М. Чалая О.В. Модели шаблонов поведения объектов контекста знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. Вип. 5 (100). С. 26-31.
9. Чалая О.В. Метод обобщения представления знание-емкого бизнес-процесса. *Біоніка інтелекту*. 2016. № 2(87). С. 101-105.
10. Чалая О.В. Модель неявных реляционных зависимостей в знание-емких бизнес-процессах. Проблемы інформаційних технологій. 2016. № 2(020). С. 111-118.
11. Чала О.В. Формалізація неявних процедурних залежностей в знання-ємних бізнес-процесах. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2016. № 4. С. 43-47.
12. Левыкин В. М., Чалая О.В. Выделение контекстно-процедурных зависимостей знание-емкого бизнес-процесса на основе анализа логов. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2016. № 6/1(32). С. 43-49. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.86220.
13. Левикін В. М., Чала О.В. Виділення реляційних залежностей бізнес-процесу на основі аналізу його логу. *Наукоємні технології*. 2016. № 4(32). С. 405-409.
14. Чала О.В. Еволюційний підхід до управління життєвим циклом знання-ємних бізнес-процесів. *Наукоємні технології*. 2017. № 1(33). С. 53-59.
15. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель жизненного цикла знание-емкого бизнес-процесса. *Управляючі системи та машини*. 2017. № 1. С. 68–76, 85. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2017.01.068>.
16. Чала О.В. Принцип та метод еволюційної побудови бази знань на основі аналізу логів ІС процесного управління. *Біоніка інтелекту*. 2017. № 1(88). С. 80-84.
17. Левикін В. М., Чала О. Концепція автоматизованої побудови бази знань у системі процесного управління. *Біоніка інтелекту*. 2017. № 2(89). С. 77-83.
18. Chala O. Logical-probabilistic representation of casual dependencies between events in business-process management. *Advanced information systems*. 2018. Vol. 2. №. 2. P. 40-44. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.07>.
19. Levykin V., Chala O. Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system. *EUREKA: Physics and*

*Engineering*. 2018. Vol. 4. P. 29-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00676>.

20. Levykin V., Chala O. Development of a method of probabilistic inference of sequences of business process activities to support business process management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/3(95). P. 16-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.142664 (входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

21. Levykin V., Chala O. Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control system. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2018. Vol. 5. P. 3-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00713>.

22. Chala O. Method for detecting anomalous states of a control object in information systems based on the analysis of temporal data and knowledge. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2018. Vol. 6. P. 28-35. DOI: 10.21303/2461-4262.2018.00787.

23. Chala O. Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*. 2018. Vol. 7, No. 3. P. 53 – 58.

24. Чала О. В. Побудова темпоральних правил для представлення знань в інформаційно-управляючих системах. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Том 2, № 3. С. 54-59. DOI: 10.20998/2522-9052.2018.3.09.

25. Левикін В. М., Чала О. В. Підтримка прийняття рішень в інформаційно-управляючих системах з використанням темпоральної бази знань. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Том 2, № 4. С. 101-107. DOI: 10.20998/2522-9052.2018.4.17.

26. Левикін В. М., Чала О. В. Підтримка управління складеним об'єктом в ІУС з використанням темпоральних залежностей. *Біоніка інтелекту*. 2018. № 1(90). С. 110-115.

27. Левикін В. М., Чала О.В. Метод підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності на основі темпоральних знань. *Біоніка інтелекту*. 2018. № 2(91). С. 54-59.

28. Chala O. Development of information technology to support management decisions using the probabilistic inference in a temporal knowledge base. *Problems of information technologies*. 2018. № 2(024). P. 35-44. DOI: <https://doi.org/10.35546/2313-0687.2018.24.35-44>.

29. Chala O. Development of information technology for the automated construction and expansion of the temporal knowledge base in the tasks of supporting management decisions. *Technology audit and production reserves*. 2019. № 1/2(45). P. 9-14. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.160205.

30. Chala O, Novikova L., Chernyshova L., Kalnitskaya A. Method for detecting shilling attacks based on implicit feedback in recommender systems. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2020. Vol. 5. P. 21-30. DOI: 10.21303/2461-4262.2020.001394 (входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

31. Петров К. Э., Дейнеко А. А., Чалая О. В., Панферова И. Ю. Метод ранжирования альтернатив при проведении процедуры коллективного экспертного оценивания. *Радиоелектроніка, інформатика, управління*. № 2(53). 2020. С. 84-94.

DOI: 10.15588/1607-3274-2020-2-9 (входить до міжнародної наукометричної бази Web of Science).

32. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель многоуровневого представления темпоральных знаний в задачах интеллектуального анализа процессов. *Вісник Академії митної служби України. Технічні науки*. 2015. №1 (51). С.5-12.

33. Левыкин В. М., Чалая О.В. Компонентная модель представления знаний о бизнес-процессе. *Системи обробки інформації*. 2016. № 9(146). С. 182-186.

34. Левыкин В. М., Чалая О.В. Иерархическая модель контекста знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2016. № 37(1209). С. 43-47.

35. Левыкин В. М., Чалая О.В. Метод актуализации знание-емких бизнес-процессов. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2016. № 45(1217). С. 65-69.

36. Левыкин В. М., Чалая О.В. Метод экстернализации знание-емких бизнес-процессов. *Системи та технології*. 2016. № 1(55). С. 35-43.

37. Левикін В. М., Чала О.В. Модель бази знань інформаційної системи процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2017. № 28(1250). С. 74-78.

38. Левикін В. М., Чала О.В. Підхід до виявлення аномальної поведінки процесів в системах процесного управління на основі аналізу логів. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2017. № 55(1276). С. 77-81.

39. Левикін В. М., Чала О. В. Розробка представлення причинно-наслідкових залежностей для бази знань системи процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2018. № 21(1297). С. 48-53.

40. Чала О. В. Метод ієрархічного виведення в базі знань інформаційно-управляючої системи в парадигмі «Enterprise 2.0». *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 4(50). С. 86-90. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.4.086.

41. Чала О. В. Метод побудови контекстно-орієнтованих правил в темпоральній базі знань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 5(51). С. 115-120. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.5.115.

42. Чала О. В. Принципи автоматизованої побудови та використання темпоральної бази знань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 6 (52). С. 122-125. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.6.122.

43. Чала О. В. Розробка представлення знань на основі марківських логічних мереж в системі процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2018. № 22(1298). С. 22-26.

44. Чала О. В. Модель узагальненого представлення темпоральних знань для задач підтримки управлінських рішень. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2020. № 1(3). С. 14-18. DOI: 10.20998/2079-0023.2020.01.03.

45. Чалая О.В. Моделирование процесса трансформации неформализованных знаний. *XX Міжнародний конгрес двигунобудівників*. (Харків, 2015). Харків: Нац. Аерокосмічний ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2015. С. 96.

46. Чала О.В. Объектно-ориентированный подход к моделированию бизнес-процессов. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології (PMW-2016)*: Тези допов. I Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 16-20 травня 2016). Харків: ХНУРЕ, 2016. С. 75-76.

47. Левыкин В. М., Чалая О.В. Использование контекста при выделении неявного процедурного знания. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: Тези допов. VI Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 21-22 квіт. 2016). Харків: ДП «Харківський НДІ технології машинобудування», 2016. С. 35.

48. Левыкин В. М., Чалая О.В. Построение моделей адаптируемых бизнес-процессов на основе анализа логов событий. *Інформаційні системи та технології (ICT-2016)*: Тези доп. V Міжнар. наук.-техн. конф. (Коблево-Харків, 12-17 верес. 2016). Харків: ХНУРЕ, 2016. С. 47-48.

49. Левыкин В. М., Чалая О.В. Структуризация неявной составляющей контекста бизнес-процесса. *Інформаційні управляючі системи та технології (IUCST-Одеса-2016)*: Тези допов. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 20-22 верес. 2016). Одеса: ОНПУ, 2016. С. 185-186.

50. Чала О.В. Оцінювання темпорального аспекту дискретного процесу згідно концепції GUM. *Метрологія та вимірювальна техніка (MVT-2016)*: Тези допов. X Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 5-7 жовт. 2016). Харків: ХНУРЕ, 2016. С. 26.

51. Левыкин В. М., Чалая О.В. Застосування методів інтелектуального аналізу процесів для виявлення патернів поведінки динамічних об'єктів. *Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM*: Тези доп. наук.-техн. конф. (Київ, 21-23 листоп. 2016). Київ: НАУ, 2016. С. 67.

52. Левыкин В. М., Чалая О.В. Информационная технология актуализации модели знание-емкого бизнес-процесса. *Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку*: Тези допов. Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 15-16 бер. 2017). Харків: НАЦГУ, 2017. С. 142-143.

53. Чала О.В. Інформаційна технологія управління життєвим циклом знання-ємних бізнес-процесів. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: Тези допов. Всеукр. наук.-практ. конф. (Черкаси, 13-19 бер. 2017). Черкаси: ЧНУ, 2017. С. 107-108.

54. Чалая О.В. Пополнение базы знаний ИУС с использованием методов анализа логов. *Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні '2017*: Тези допов. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 22-23 черв. 2017). Київ: НУБіП України, 2017. С. 126-127.

55. Levykin V.M., Chala O.V. Automated knowledge base construction using process logs. *Scientific progress news: Proceeding in XIII International scient.- pract. confer.* (Sofia, Bulgaria, August 15-22, 2017). Sofia, 2017. С. 26-28.

56. Левикін В.М., Чала О.В. Автоматизована побудова баз знань для вирішення метрологічних задач. *Метрологія, інформаційно-вимірвальні технології та системи (МІВТС-2017):* Тези допов. VI Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24-25 жовт. 2017). Харків: ХНУРЕ, 2017. С. 87-88.

57. Чала О.В. Побудова подієвої складової бази знань в рамках системи управління підприємством. *Інформаційні технології – 2018 (ІТ-2018):* Тези допов. V Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 17 трав. 2018). Київ: УГ. С. 143-145.

58. Левикін В.М., Чала О.В. Контекстні обмеження в базі знань інформаційної системи процесного управління. *Комп'ютерні та інформаційні системи і технології:* Тези допов. II Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 18-19 квіт. 2018). Харків, ХНУРЕ, 2018. С. 108.

59. Чала О.В. Визначення інтегральної оцінки відхилень траєкторій у журналі подій в інформаційних системах процесного управління. *ProfIT Conference:* Тези допов. I Міжнар. наук.-практ. конф. ІТ-професіоналів та аналітиків комп'ютерних систем (Харків, 24 – 26 квіт. 2018). Харків, НАУ ім. Жуковського, ХАІ, 2018. С. 34-35.

60. Левикін В.М., Чала О.В. Використання темпоральних правил в задачах захисту інформації в комп'ютерних системах. *Інформаційні системи та технології (ІСТ-2018):* Тези допов. VII Міжнар. наук.-техн. конф. (10-15 верес. 2018). Харків: ХНУРЕ, 2018. С. 35-38.

61. Левикін В.М., Чала О.В. Моделювання причинно-наслідкових зв'язків між подіями логу бізнес-процесу в задачах автоматизованої побудови баз знань. *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ 2021):* Тези допов. VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 17-18 вер. 2018). Одеса: ОНПУ, 2018. С.141-142.

62. Левикін В.М., Чала О.В. Автоматизована побудова бази темпоральних правил при управлінні якістю медичних послуг. *Інформаційні системи та технології в медицині (ISM-2018):* Тези допов. I Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 28-30 листоп. 2018). Харків: ХНУРЕ, 2018. С. 106-107.

63. Левикін В. М., Чала О.В. Знання-орієнтована структуризація управлінського рішення в системах підтримки прийняття рішень. *Комп'ютерні та інформаційні системи і технології:* Тези допов. III Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 23-24 квіт. 2019). Харків: ХНУРЕ, 2019. С. 111.

64. Levykin V., Chala O. Algebraic approach to the description of temporal knowledge in decision support tasks. *Computer and information systems and technologies: Proceeding in IV International. scient.- techn. confer.* (Kharkiv, April 22-23, 2020). Kharkiv: KNURE, 2020. P.74-75.

65. Левикін В.М., Чала О.В. Виявлення проблемних ситуацій при підтримці управлінського рішення з використання бінарного та ймовірнісного критеріїв. *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-2020):* Тези допов. IX Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 24-26 вересн. 2020). Одеса: ОНПУ, С.130-131.

## АНОТАЦІЯ

Чала О.В. Моделі, методи та інформаційні технології автоматизованого управління темпоральними базами знань для підтримки управлінських рішень. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» - Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, Харків 2021.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна проблема розробки концептуальних основ, моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності вибору управлінських рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач.

Вперше запропоновано модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях та містить альтернативні реалізації цього рішення у складі послідовностей станів об'єкту управління, які відповідають послідовностям управляючих дій, набори темпоральних залежностей для кожної з цих послідовностей, а також оцінки темпоральних залежностей, що дає можливість побудувати та оцінити альтернативи при вирішенні задачі формування управлінського рішення. Вперше запропоновано модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень, яка містить множину фактів, що відображають знання щодо виникнення станів об'єкту управління, темпоральні відношення, що визначають послідовність фактів у часі, та множинні операції, які задають поєднання, перетин та різницю фактів, що дає змогу у темпоральному й об'єктному аспектах відобразити багатоваріантність управлінського рішення із заданим ступенем деталізації темпоральних знань згідно організаційної ієрархії об'єкту управління. Вперше запропоновано модель темпоральної бази знань, що містить логіко-ймовірнісне представлення знань, знання щодо поточних процесів управління та станів об'єкту управління, а також засоби побудови, уточнення та використання темпоральних знань, що дає можливість автоматизувати управління знаннями шляхом побудови темпоральних правил та подальшого використання цих правил для підтримки управлінських рішень. Вперше запропоновано метод виявлення аномального стану об'єкту управління з використанням темпоральних правил, який передбачає формування множини зважених темпоральних залежностей, що охоплюють знання про поточну та відомі альтернативні реалізації управлінського рішення, а також оцінку поточного стану з урахуванням темпоральних обмежень й ваг темпоральних правил, що дає можливість автоматизувати вирішення задачі виявлення проблемної ситуації у процесі підтримки управлінського рішення. Вперше запропоновано метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах; метод формує упорядковану за ймовірністю реалізації множину впорядкованих у часі послідовностей фактів, які відображають знання щодо альтернативних послідовностей станів при реалізації управлінського рішення, що дає можливість підвищити ефективність підтримки таких рішень за рахунок зменшення кількості

альтернатив, які пропонуються ОПР. Удосконалено методи побудови продукційних знань в аспекті темпоральних правил, які, на відміну від існуючих, формують класи еквівалентності фактів і правил та виділяють правила-обмеження і правила-ймовірні умови виконання управляючих дій, що дає можливість з використанням інформації щодо відомих імплементацій управлінського рішення у автоматичному режимі побудувати темпоральні знання для підтримки управлінських рішень. Удосконалено метод визначення ваг темпоральних правил на основі значень ймовірностей послідовностей фактів, який, на відміну від існуючих, використовує темпоральні знання щодо виконаних послідовностей дій для альтернативних варіантів управлінського рішення за виключенням темпоральних обмежень, що дає можливість упорядкувати альтернативи при формуванні управлінського рішення з використанням уточнених при зміні стану об'єкту управління ваг темпоральних правил. Набуло подальшого розвитку продукційне представлення знань у формі ансамблю моделей темпоральних правил, які, на відміну від існуючих, містять знання щодо порядку у часі фактів виникнення станів об'єкту управління, а також змін у станах окремих типових об'єктів у складі об'єкту управління, що дає можливість використати темпоральні знання для формування таких нових послідовностей управляючих дій, які забезпечують досягнення цільового стану об'єкту управління у процесі підтримки управлінського рішення.

Наведено результати експериментальної перевірки запропонованих методів, а також впровадження розроблених технологій, які підтвердили працездатність та ефективність моделей, методів та технологій автоматизованого управління темпоральною базою знань для вирішення задач підтримки управлінських рішень.

Ключові слова: послідовність управлінських дій, підтримка управлінських рішень, представлення знань, темпоральне правило, темпоральна база знань, аномальний стан, зворотній ймовірнісний вивід.

## **ABSTRACT**

Chala O.V. Models, methods and information technologies for automated management of temporal knowledge bases to support management decisions. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, specialty 05.13.06 "Information Technologies" – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv 2021.

In the dissertation, the current scientific and applied problem of the development of conceptual bases, models, methods, and information technologies of the automated temporal knowledge bases' management to increase the efficiency of a choice of administrative decisions, solving partially structured and unstructured problems is solved.

For the first time, a model of a multivariate managerial solution that is based on temporal knowledge and contains alternative implementations of this solution as a part of the sequences of states of the control object, corresponding to the sequences of control actions, sets of temporal dependencies for each of these sequences, estimation of temporal

dependences as well, that gives opportunity to build and evaluate alternatives in solving the problem of forming a management decision.

For the first time, a model for representing temporal dependencies for management decision support problems is proposed. It contains a set of facts that reflect knowledge about the states of the control object, temporal relations that determine the sequence of facts over time, and multiple operations that specify combinations, intersections, and differences of facts. It allows reflecting the multivariate management decision in the temporal and object aspects with a given degree of detail of the temporal knowledge according to the organizational hierarchy of the object of management. For the first time, a model of the temporal knowledge base is proposed, which contains the logical-probabilistic representation of knowledge, knowledge about current management processes and states of the control object, as well as means of construction, refinement, and use of temporal knowledge, which allows automating knowledge management by building and using these rules to support management decisions. For the first time, a method for detecting an anomalous state of a control object using temporal rules is proposed. It involves the formation of a set of weighted temporal dependencies, including knowledge of current and known alternative implementations of management decisions, as well as assessment of current state, that makes it possible to automate the solution of the problem of identifying a problem situation in the process of supporting management decisions. For the first time, the method of inverse probabilistic inference on temporal rules is proposed. It forms a set of time-ordered sequences of facts, which reflect the knowledge of alternative sequences of states in the implementation of management decisions, which makes it possible to increase the effectiveness of support for such decisions by reducing the number of alternatives offered by a decision maker. The methods of constructing production knowledge in terms of temporal rules are improved. They, in contrast to existing ones, form classes of equivalence of facts and rules and distinguish rules-restrictions and rules-probable conditions of control actions, which allows using information on known implementations of management decisions in automatic mode to build temporal knowledge to support management decisions. The method of determining the weights of temporal rules that is based on the values of probabilities of sequences of facts is improved. It, in contrast to existing, uses temporal knowledge of the sequence of actions for alternative management decisions except temporal constraints, which allows organizing alternatives in making management decisions changes in the state of the object of control of scales of temporal rules. Productive representation of knowledge in the form of temporal rules models ensemble is got furtherance, which, unlike existing, contains knowledge of an order in time of the facts occurrence of states of management object, considering moments of occurrence of other states, and also changes in states of separate standard objects as part of the control object, which makes it possible to use temporal knowledge to form such new sequences of states of the control object, which ensure the achievement of the target state in the process of supporting the management decision.

The results of experimental verification of the proposed methods, as well as testing of the developed technologies, which confirmed the efficiency and effectiveness of

technologies for automated control of the temporal knowledge base to solve problems to support management decisions.

Keywords: sequence of managerial actions, support of managerial decisions, presentation of knowledge, temporal rule, temporal knowledge base, anomalous state, inverse probabilistic conclusion.